

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRACIONAMENTO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO**  
**EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE CULTIVOS SOB**  
**PLANTIO DIRETO**

**Leonardo Ricardo Rotta**

Eng. Agrônomo

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Abril de 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRACIONAMENTO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO**  
**EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE CULTIVOS SOB**  
**PLANTIO DIRETO**

**Leonardo Ricardo Rotta**

**Orientador: Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Abril de 2012

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**LEONARDO RICARDO ROTTA** – Filho de Carlos Antonio Rotta e Helena Bassani Rotta, nascido no município de Jataí, Goiás, em 02 de fevereiro de 1987. Em 2005 ingressou na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, onde, em 2009, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Em fevereiro de 2010 iniciou-se o curso de Mestrado em Agronomia na Universidade Federal de Goiás - UFG, concentrando seus estudos na área de produção vegetal, linha de pesquisa solos e nutrição de plantas.

“Quando fizer algo, que faça bem feito, porque o tempo que perderá fazendo mal feito pode ser o mesmo tempo gasto em ter cumprido uma tarefa com êxito”.

Dario Minoru Hiromoto (*in memoriam*)

Aos meus pais e meu irmão, pelo carinho, compreensão, apoio e confiança.

**Dedico e Ofereço**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus em primeiro lugar.

À Universidade Federal de Goiás.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

Aos meus pais, Carlos e Helena, ao meu irmão, Douglas, pelo apoio dado a esta nova etapa da vida.

Ao prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza, pela orientação, dedicação, paciência, conselhos e apoio para que esse trabalho fosse realizado.

Ao prof Dr. Ibanor Anghinoni por ter disponibilizado e concedido espaço para condução das análises no Laboratório de Solos da UFRGS.

Ao prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro e Helder Barbosa Paulino, pela amizade, orientação, generosidade em compartilhar conhecimentos.

Ao grupo de solos, e todos aqueles que fazem parte da pós-graduação, pela convivência.

Aos meus amigos, Diego, Flávio, Franciane, Alex, Alexandre, Andrey, José Acácio, Thiago, Geanderson, João, Uadson, Marcos Humberto, entre outros, pelo tempo que passamos junto nessa etapa da vida, pelas discussões, estudos e compartilhamento de aflições durante o curso.

Aos colegas de trabalho e amigos que fiz durante minha estadia no Rio Grande do Sul, que de uma forma ou de outra contribuíram para o sucesso desse trabalho: Sérgio, Amanda, Filipe Selau, Adão, Osmar, Diego e demais colegas, meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO.....	4
2.1 – Fósforo em sistema de plantio direto.....	4
2.2 – Formas e labilidade do fósforo .....	8
2.3 – Solos de murundus ou “covais” .....	13
3 – MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1 – Localização e identificação da área .....	16
3.2 – Histórico da área .....	18
3.3 – Coleta do solo .....	23
3.4 – Fracionamento do fósforo.....	26
3.5 – Análise estatística .....	29
4 – REFERÊNCIAS .....	30
5 – ARTIGO: FRACIONAMENTO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE CULTIVOS SOB PLANTIO DIRETO.....	39
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
APÊNDICES.....	59

## FRACIONAMENTO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE CULTIVOS SOB PLANTIO DIRETO

**RESUMO** - O histórico de uso e o manejo da adubação influenciam a capacidade de suprimento de fósforo (P) pelo solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as labilidades de P em função do tempo de adoção do sistema plantio direto em um Plintossolo Háplico do cerrado. O experimento foi conduzido em áreas pertencentes à Fazenda Boa Vista, localizada no município de Jataí/Goiás. Os tratamentos consistiram na avaliação de uma cronosequência de interferência antrópica, com diferentes anos de adoção do plantio direto, sendo 7 (PD 7), 11 (PD 11) e 16 anos (PD 16). Os teores de fósforo lábil representaram 10, 8 e 9 % do fósforo total do solo, para os tratamentos PD7, PD11 e PD16, com teores variando entre 98,7 e 122,4 mg dm<sup>-3</sup>, demonstrando que o tempo de implantação do sistema não promoveu aumentos significativos a partir de 7 anos. Os maiores teores de fósforo moderadamente lábil foram no PD16>PD11>PD7 (375, 341 e 236 mg dm<sup>-3</sup>), acompanhando a elevação dos teores de óxidos de ferro, sendo esta a fração de maior acúmulo. Independente do tempo de adoção do plantio direto, os teores de fósforo extraídas com Mehlich 1 são inferiores e subestimam os teores disponíveis em comparação com a resina. Os estoques de P lábil no solo estudado são suficientes para manter teores de P disponíveis adequados para as culturas conforme as recomendações para o Cerrado, sem necessidade de suplementação imediata de P via adubações.

**Palavras-chave** – Estoques de fósforo, fracionamento do fósforo, solo de cerrado.

## PHOSPHORUS FRACTIONATION AND AVAILABILITY IN A CROPPING CHRONOSEQUENCE UNDER NO TILLAGE

**ABSTRACT** - The use history and management of fertilization influence the ability to supply phosphorus from the soil. The objective of this study was to evaluate the labile phosphorus in zero tillage as a function of time of adoption of the system in Haplic Plinthosol savannah. The experiment was conducted in areas belonging to the Fazenda Boa Vista, in the municipality of Jataí/Goiás. The treatments consisted in the evaluation of a chronosequence of anthropogenic interference with different years of adoption of no-till, and 7 (PD 7), 11 (PD 11) and 16 (PD 16). The levels of labile phosphorus accounted for 10, 8 and 9% of total soil phosphorus for treatments PD7, PD11 and PD16, with levels ranging between 98.7 and 122.4 mg dm<sup>-3</sup>, demonstrating that the time of deployment system did not promote significant increases from 7 years. The highest levels were moderately labile phosphorus in PD16 > PD11 > PD7 (375, 341 and 236 mg dm<sup>-3</sup>), following the elevation of the levels of iron oxides, this being the fraction of greatest accumulation. Regardless of time of adoption of no-till, levels of P extracted with Mehlich 1 are lower and underestimate the levels available compared with the resin. The stocks of labile phosphorus are sufficient to maintain high crop yields, according to the recommendations for the Cerrado, without resorting to additional fertilization.

**Keywords** – Phosphorus stocks, phosphorus fractionation, Cerrado soil.

## 1 – INTRODUÇÃO

Em função da sua complexa dinâmica no solo e essencialidade como nutriente para as espécies vegetais, o fósforo (P) é um dos elementos mais pesquisados em fertilidade do solo e nutrição vegetal. Devido à escassez de P nos solos, em formas disponíveis para as plantas, e da acelerada expansão de forma desordenada com a inclusão de solos de baixa aptidão agrícola, como os Plintossolos, que geralmente vem provocando uma degradação desses ecossistemas, torna-se necessário o uso de maiores doses de fertilizantes fosfatados e a busca de um manejo da adubação, da forma e aperfeiçoar a eficiência de aproveitamento desse nutriente pelas culturas.

Os Plintossolos apresentam certa restrição à infiltração de água levando ao alagamento em certas épocas do ano, dessa forma, é necessária a confecção de grandes canais de escoamentos que devem ser construídos para posteriormente inserir a cultura desejada. Essa ação antrópica promove alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, podendo vir a afetar a dinâmica do fósforo.

Desse modo, as diversas formas e frações de P no solo são afetadas pela natureza do mesmo, pela cobertura vegetal e pelos diferentes tipos de manejo agrônomo. Quando se realiza uma adubação fosfatada, ocorre uma sequência de eventos físico-químicos, transformando o P aplicado em substâncias complexas, as quais passam a governar a disponibilidade do nutriente no solo. Para que haja melhor entendimento quanto aos condicionantes da disponibilidade de P, vários métodos têm sido desenvolvidos para fracionar as formas do elemento no solo e, com isso, estudar as suas transformações. O P pode apresentar-se em formas de maior ou menor estabilidade, ligado, principalmente, a compostos de ferro, alumínio, cálcio e à matéria orgânica. Uma das vantagens do fracionamento é permitir relacionar as formas de P no solo à sua disponibilidade para as plantas.

A adoção do sistema de plantio direto (SPD), que preconiza o não revolvimento contribuindo para a diminuição da erosão do solo permite o acúmulo do fósforo na camada superficial, onde os sítios de adsorção mais ávidos vão sendo gradativamente preenchidos e novas adubações fosfatadas aumentam as formas

mais lábeis, além de favorecer a atividade microbiana, dando maior relevância ao fósforo orgânico do solo. A adoção do SPD propiciará, então, um aumento nos teores de matéria orgânica no solo, a qual será responsável por várias ligações com o solo, reduzindo suas cargas livres que poderiam vir a se ligar com o mineral fósforo, principalmente nos solos do Cerrado, que apresentam altos teores de óxidos, os quais têm alta capacidade em adsorver o P na forma moderadamente lábil.

Essa alteração na labilidade é importante, pois o P está disponível para as plantas quando em solução, mas juntamente a esse compartimento se tem o P lábil, que funciona como uma fonte de reserva para o P solução, sequencialmente vem o P moderadamente lábil que está relacionado aos óxidos e por fim o P pouco lábil que se encontra associado ao cálcio, e é composto pela fração húmus mais estável e frações inorgânicas muito insolúveis, consideradas muito resistentes à decomposição.

Além das formas devido à labilidade o P pode ser dividido devido às frações, sendo orgânico ou inorgânico, onde essas podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, dependendo das suas características mineralógicas, das condições ambientais, da fertilização e do manejo do solo (Novais & Smith, 1999). Em virtude da composição mineralógica de cada solo o P apresenta diferentes níveis de adsorção, pela afinidade diferencial com os óxidos, hidróxidos e oxiidróxidos de ferro e alumínio.

Tendo em mente as considerações expostas e levando em conta a complexidade da dinâmica desse nutriente, algumas hipóteses podem ser elaboradas: após uma cronosequência de estabelecimento do SPD, ocorrerá uma tendência de aumento do P total, bem como as frações orgânicas e inorgânicas, além das formas de P moderadamente lábil e pouco lábil que tenderá a esse aumento.

Nesse contexto, estudos que visem à determinação das diferentes formas e labilidades de P presentes no solo possibilitam conhecer o comportamento do nutriente, podendo, dentro do sistema de produção adotada, indicar um manejo mais eficiente da adubação fosfatada. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a

labilidade do fósforo em plantio direto em função do tempo de adoção do sistema em Plintossolo Háplico de cerrado.

## 2 – ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

### 2.1 – Fósforo em sistema de plantio direto

O fósforo (P) é um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas, entretanto, é o que, com mais frequência, tem limitado a produção agrícola. Em geral, o teor total deste elemento no solo varia entre 200 a 3000 mg kg<sup>-1</sup> (Novais & Smyth, 1999), sendo que menos de 0,1 % desse total (0,002 a 2,0 mg L<sup>-1</sup>) encontra-se na solução do solo. Na maioria dos solos tropicais, o teor de P é menor que 0,2 mg L<sup>-1</sup>, o qual representa a concentração ideal de equilíbrio para o máximo crescimento da maioria das plantas. A baixa disponibilidade de P nos solos tropicais é decorrente dos seus baixos teores, da baixa solubilidade dos compostos de P, normalmente encontrados nos solos, e da sua imobilização devido às fortes interações que apresenta com os constituintes destes solos (Rolim Neto et al., 2004). O suprimento de P às plantas se dá essencialmente via sistema radicular, estando sua absorção na dependência da capacidade de fornecimento do substrato (Gatiboni, 2003).

A dinâmica de P no solo é influenciada pelos diferentes sistemas de preparo. No SPD, a adubação fosfatada localizada, no sulco de semeadura ou a lanço na superfície, diminui a superfície de contato com os constituintes do solo. Embora uma menor porção de raízes entre em contato com o nutriente, espera-se um maior efeito residual, pois as regiões de maior concentração, tanto pela granulação como pela adubação em sulcos, são mantidas no tempo (Marcolan, 2006).

Os solos tropicais são caracterizados como drenos de P pelo seu avançado grau de intemperismo. Nesta condição, o P encontra-se em concentrações muito baixas na solução do solo, sendo limitante para o desenvolvimento de culturas comerciais. A ação antrópica, via manejo do solo e adição de fertilizantes, pode afetar a dinâmica do P no solo. O conhecimento do ciclo biogeoquímico desse nutriente pode melhorar a sua biociclagem, a eficiência da adubação fosfatada, e

prevenir problemas ambientais causados pelo excesso de aplicação de P no solo (Conte et al., 2001).

A dinâmica do P no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo. Assim, em solos menos intemperizados e nos moderadamente intemperizados, como os Vertissolos, Chernossolos e os Neossolos, ainda encontra-se P em minerais primários, mas a maior parte deste elemento se encontra na fração orgânica (Po), ou na fração mineral (Pi), adsorvida fracamente aos minerais secundários (Santos et al., 2008).

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 e, mais especificamente, no horizonte superficial (Santos et al., 2008). No SPD, observa-se maior concentração de P nas camadas superficiais, principalmente entre 0 a 7 cm, o que é explicado pela localização da adubação, pela menor erosão, pela ausência do revolvimento do solo e pela ciclagem de nutrientes pelas plantas (Rheinheimer et al., 1998) Já no sistema convencional, a distribuição do nutriente segue a profundidade de revolvimento.

O cultivo sem revolvimento no SPD mantém o solo coberto com resíduos vegetais e apresenta uma taxa de decomposição, desses resíduos, bem menor, em relação ao preparo convencional, e mais constante no tempo. A deposição dos resíduos na superfície do solo diminui as perdas de água por evaporação resultando em maior umidade no solo. Esses fatores, somados à baixa mobilidade do P no perfil do solo e à redução das perdas por erosão levam, com o passar do tempo, ao aumento dos teores de P disponível na camada superficial do solo. O aumento na disponibilidade de P, no SPD, tem sido verificado em análises de P disponível Mehlich e resina de troca aniônica e nos estudos de fracionamento do P no solo (Sá 1999; 2004; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Rheinheimer et al., 2003).

Com o revolvimento do solo, o P entra em contato com os colóides, aumentando a sua adsorção. Inicialmente a energia de ligação entre o P e os colóides é fraca e o 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 as plantas (Walker &

Syers, 1976). No SPD, a aplicação do fertilizante também se dá em linha; no entanto, ocorre uma mínima mobilização do solo e, com isso, há menor contato do fertilizante com o solo, diminuindo as reações entre o solo e o fertilizante (Souza, 2008).

Há acúmulo pronunciado de P total e inorgânico na camada superficial do solo sob SPD, especialmente quando as doses aplicadas são superiores às retiradas pelas culturas. O equilíbrio dinâmico entre o P orgânico e o geoquímico é perturbado pela adição de fosfato, de tal modo que a biomassa edáfica não consegue amortecer tal perturbação num espaço curto de tempo (Santos et al., 2008).

No SPD, mesmo utilizando-se o mesmo modo de adubação fosfatada, lançado ou sulco, a disponibilidade de P no solo é alterada devido ao não revolvimento do solo, em relação ao preparo convencional, e, conseqüentemente, o mesmo ocorre com a distribuição de raízes (Marcolan, 2006), onde que no SPD, o P, normalmente, o solo não é revolvido, mantendo-se coberto com resíduos vegetais e apresentando uma taxa de decomposição, desses resíduos, bem menor e mais constante no tempo.

O acúmulo de P no solo ocorre em diversas frações, inclusive orgânicas (Rheinheimer & Anghinoni, 2003). O P acumulado redistribui-se em formas com baixa energia de ligação aos colóides e, assim, atua mais eficientemente. A ciclagem de nutrientes de camadas mais profundas para a superfície e a competição de compostos orgânicos hidrossolúveis pelos sítios de adsorção podem aumentar a sua disponibilidade (Marcolan, 2006).

Solos cultivados no SPD apresentam alta concentração de raízes na camada superficial; logo, o P proveniente dessas raízes após sua decomposição também passa a ser uma importante fonte para as plantas. O aumento de P orgânico na camada superficial pronuncia-se mais, quando do aporte de altas quantidades de biomassa vegetal e em solos com alta resiliência (Rheinheimer & Anghinoni, 2003). Com o tempo de cultivo sob SPD, as formas de P pouco lábeis em relação ao P total tendem a diminuir, sendo acompanhadas por aumento relativo das formas mais lábeis (Araujo et al., 1993; Rheinheimer et al., 2001; Conte et al., 2002).

No SPD, os teores superficiais de matéria orgânica são mais elevados, cujas substâncias húmicas, ou mesmo ácidos orgânicos de baixo peso molecular, podem auxiliar na diminuição dos sítios de adsorção e da energia de ligação fosfato-solo. A adição de doses similares de fertilizantes fosfatados ao solo provoca maior acumulação de P na camada superficial do solo sob SPD do que no preparo convencional (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

Com a aplicação de adubos fosfatados e consequente adsorção aos colóides, o manejo do solo passa a ter papel importante no prolongamento da sua labilidade, pois algumas práticas podem ser adotadas para diminuir a formação de complexos de esfera interna, como o não revolvimento do solo, controle da erosão e a manutenção da cobertura vegetal do solo (Marcolan, 2006). Em solos onde a fração argila é composta predominantemente por oxihidróxidos de ferro e de alumínio mais caulinita, como os Latossolos de Cerrado, a capacidade de sorção do P é alta. Por isso, adições de fertilizante fosfatado onde o solo é revolvido, há exposição de novos sítios de adsorção, contribuindo para a sua retenção com maior energia, como acontece no plantio convencional, exigindo doses elevadas para manter a alta disponibilidade (Gatiboni, 2003). Assim, a disponibilidade de P às plantas pode se dar ao fato da maior concentração de P em uma menor camada de solo associada à diminuição dos sítios de adsorção e da energia de ligação fosfato-solo.

A localização do P em parte do solo, principalmente, naqueles com baixos teores, frequentemente, aumenta a absorção de P pelas plantas (Barber, 1995). Assim, no caso do SPD, o P é aplicado em parte do volume do solo, na camada superficial, logo aumentaria a disponibilidade de P no solo fertilizado, resultando em maior suprimento de P do solo para as raízes e, assim, maior absorção, em relação ao preparo convencional.

Em solos não fertilizados e com adição de resíduos vegetais, o P orgânico tampona a solução do solo, servindo como fonte de P. Porém, quando fertilizados, o P acumula-se, preferencialmente, em formas inorgânicas que tamponam a solução do solo. Assim, o P orgânico é utilizado em menor quantidade, podendo ser acumulado. Neste caso, compostos orgânicos atuam como dreno de P no solo (Novais & Smyth, 1999).

Pelo exposto, observa-se que a grande participação das frações orgânicas no tamponamento do P absorvido pelas plantas, o que está em consonância com os resultados encontrados por vários pesquisadores, que mostraram que em ecossistemas naturais, sem adição de P, a disponibilidade está intimamente relacionada à mineralização das formas orgânicas (Tiessen et al., 1984; Beck & Sanches, 1994).

Os resíduos culturais acumulados na superfície do solo em SPD proporcionam menor amplitude térmica na camada superficial do solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990), diminuindo a perda de água por evaporação e favorecendo a sua subida até a camada superficial por capilaridade. Assim, em função da maior disponibilidade hídrica, deve haver maior difusão de P, que poderá beneficiar o suprimento às raízes e a absorção pelas plantas.

Devido à sua complexa dinâmica nos solos tropicais, a disponibilidade desse nutriente é influenciada por inúmeros fatores, variando quanto ao manejo e ao modo de adubação, dentre outros.

## **2.2 – Formas e labilidade do fósforo**

O P em termos quantitativos é um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas, porém é o que, com mais frequência, tem limitado a produção agrícola brasileira (Malavolta, 1976; Raij, 1991). Isso se deve tanto à sua deficiência generalizada em solos tropicais quanto à sua imobilização em decorrência das fortes interações que apresenta com os constituintes desses solos. A sorção de P, que inclui tanto adsorção na superfície de minerais quanto sua precipitação como fosfatos de baixa solubilidade, é comum em solos ácidos, relativamente ricos em óxidos de Fe e de Al, como é o caso geral dos solos tropicais (Motta et al., 2002).

A magnitude deste fenômeno depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais, sendo, por isso, dentro de uma mesma mineralogia, afetada pelo maior teor de argila (Bahia Filho et al., 1983). Segundo Motta et al., (2002), em solos deficientes em P e com grande quantidade de argilominerais e óxidos, a adsorção de P é maior e, para o atendimento da exigência

das culturas, são exigidos níveis de adubação fosfatada mais elevados do que para solos mais arenosos.

As formas de P do solo têm diferentes capacidades de dessorção e abastecimento da solução do solo, segundo sua natureza química e energia de ligação. Independentemente da sua natureza química, o P é dividido de acordo com a facilidade de sua reposição da solução do solo, sendo distribuído em formas lábeis, moderadamente lábeis e pouco lábeis (Gatiboni et al., 2005).

Uma maneira de compreender a dinâmica do P é dividi-lo em formas, pelo uso de soluções extratoras de diferentes composições e capacidades de extração, dada a complexidade do comportamento desse elemento no solo (Silva & Raij, 1999). A primeira tentativa de fracionamento foi proposta em 1937 (Dean, 1937), pelo uso de extrações sequenciais álcali e ácido. Posteriormente, Chang & Jackson (1957) aperfeiçoaram o método, introduzindo outros extratores, com objetivo de separar as formas por eles identificadas como Pi-Al, Pi-Fe, Pi-Ca e Pi-Fe redutor. No entanto, esse procedimento pode apresentar problemas de interpretação dos resultados, pois ocorrem reabsorção durante a extração e hidrólise do P orgânico (Rheinheimer et al., 2000).

Mais recentemente, para estudos do acúmulo e da dessorção de formas de P segundo sua labilidade, diversos autores têm utilizado o fracionamento proposto por Hedley et al. (1982). Esse fracionamento tem mostrado que as frações orgânicas e inorgânicas de P no solo podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, dependendo das suas características mineralógicas, das condições ambientais, da fertilização e do manejo do solo. Esse método se constitui em uma extração sequencial, em que, são adicionados extratores de menor à maior força de extração, os quais removem P inorgânico (Pi) e orgânico (Po), das formas mais disponíveis às mais estáveis. Os extratores utilizados sequencialmente são: resina trocadora de ânions (RTA),  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5; NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>; NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> + ultrasonificação; HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e; digestão com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Esta técnica também sofreu modificações para torná-la mais simples e facilitar sua utilização. Dentre as modificações realizadas, têm-se a substituição da extração com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> + ultrasonificação pela extração com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Condon et al., 1985).

Esse método de fracionamento sequencial de P do solo é capaz de identificar as formas mais estáveis, em ordem crescente de estabilidade, ou decrescente sob o ponto de vista da disponibilidade as plantas. De acordo com o método de Hedley et al. (1982), para os solos tropicais, 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 (Araújo & Salcedo, 1997; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Conte et al., 2003).

O P do solo é dividido em duas frações, P inorgânico e P orgânico, dependendo da natureza do composto a que está ligado. O grupo do P inorgânico pode ser separado em duas partes, o P dos minerais primários e o P adsorvido. Ele compõe um intrincado grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química. O P adicionado aos solos nas adubações tende a passar rapidamente para formas menos solúveis. Contudo, Fernandes et al. (2002), analisando frações de P em solos de várzea, observaram que, com o aumento na dose de P, houve incremento do P lábil total, tendo as frações de P inorgânico sido as que mais contribuíram para o P lábil total em relação às frações orgânicas.

Com a adição de fertilizantes fosfatados, há acúmulo de P em frações inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, embora o acúmulo seja mais pronunciado nas frações inorgânicas (Daroub et al., 2000). A redistribuição de P em diversas formas quando da fertilização também ocorre em solos cultivados sob SPD, pois tem se observado a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, inclusive de P (Rheinheimer et al., 2003). Esse comportamento é consequência da adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial do solo, ausência de revolvimento do solo e diminuição da taxa de erosão. A adsorção do P ocorre primeiramente nos sítios mais ávidos (de menor labilidade) e, posteriormente, o P remanescente é redistribuído em formas retidas com menor energia e de maior disponibilidade para as plantas (Rheinheimer & Anghinoni, 2001). Adicionalmente, no SPD, a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo reduz sua taxa de decomposição, aumentando o conteúdo de matéria orgânica e de P orgânico.

A fração orgânica de P constitui uma porção significativa do P total, variando de 15 a 80 % na maioria dos solos (Stevenson, 1994), podendo contribuir substancialmente para a disponibilidade de P por meio do processo de mineralização. As diferentes formas de P orgânico no solo apresentam graus distintos de estabilidade, refletindo na sua disponibilidade, dando assim, a necessidade de caracterizar essas frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de P para as plantas (Machado et al., 1993). Nessa linha, os sistemas de manejo do solo modificam a dinâmica do P e alterações dos conteúdos das diferentes formas de P orgânico têm sido observadas em decorrência de práticas agrícolas, tais como: adubação mineral e adubação orgânica (Zhang & Mackenzie, 1997).

A matéria orgânica do solo é um importante controlador da dinâmica de P no solo e o seu incremento aumenta também a proporção de P orgânico em relação às quantidades totais de P (Harrison, 1987). De modo geral, o conteúdo total de P orgânico aumenta, quando o manejo favorece o incremento de matéria orgânica e, ou, com a utilização de fertilizantes, e diminui em sistemas intensivos de cultivo com baixa reposição de P (Damodar Reddy et al., 2000). Sistemas de manejo que promovem adição de matéria orgânica ao solo também contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003). Desta forma, a necessidade de se considerar a matéria orgânica do solo para o melhor entendimento da ciclagem do P se torna crítica (Chapius Lardy et al., 2002).

Nos solos altamente intemperizados, predominam as frações inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as frações orgânicas estabilizadas física e quimicamente. De acordo com o maior ou menor grau de estabilidade destes compostos, o P é enquadrado em diferentes labilidades. A forma lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando o P é absorvido por plantas ou por microrganismos. Por isso, as formas mais lábeis são dependentes do grau de intemperismo do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (Walker & Syers, 1976; Cross & Schlesinger, 1995).

O teor de P na solução é geralmente baixo e representa muito pouco para as necessidades das plantas, estando em equilíbrio rápido com as formas lábeis da fase sólida. Esse equilíbrio dá-se por meio da dessorção e dissolução do fosfato lábil, repondo constantemente o P absorvido da solução pelas plantas. As formas menos lábeis de P (moderadamente lábil e pouco lábil), tendo maior representação pelo P inorgânico, apenas lentamente pode voltar a formas lábeis (Resende, 2004). A forma de P precipitado com Fe e Al, mais aquela adsorvida em óxidos de Fe e Al, representam o P moderadamente lábil, que podem ser removidos da solução do solo via adsorção por ligações covalentes de alta energia, enquanto o P pouco lábil corresponde aos compostos fosfatados mais complexos e estáveis (Raij, 1991).

Autores reportam às formas menos lábeis uma atuação de fonte ou de dreno do P dependendo da quantidade de P adicionada via fertilizantes é maior em relação à exportada pelo sistema. Assim, a porção remanescente é estabilizada predominantemente em formas de labilidade intermediária, que atuam como dreno do P adicionado. De certa forma, quando a adição de fertilizantes é aquém da exportação de P do sistema, as formas de P de labilidade intermediária atuam como fonte, mantendo os teores de P na solução do solo (Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Conte et al., 2003; Gatiboni et al., 2007).

Devido às condições de intenso intemperismo, os solos de regiões tropicais apresentam reduzida fração de P biodisponível, muitas vezes abaixo das exigências mínimas das culturas (Santos et al., 2008). Essa característica está associada à alta capacidade que esses solos têm em reter o P na fase sólida, na forma de compostos de baixa reatividade. Contudo, os sistemas de cultivo e o manejo da adubação fosfatada podem influenciar o potencial de suprimento do nutriente no solo e o seu aproveitamento pelas culturas (Sousa & Lobato, 2003). Com isso, faz-se necessário entender melhor o comportamento do P em sistemas de plantio direto, a fim de se poder manejar, com mais critérios, a adubação fosfatada nesses sistemas.

### 2.3 – Solos de murundus ou “covais”

Murundu ou áreas de “covais” são nomes do vernáculo brasileiro de origem africana dadas em quase todos os pequenos e arredondados levantamentos da terra, incluindo afloramentos rochosos, cupinzeiros e capões. Os campos de covais encontrados em todo o cerrado, região dos Planaltos do Brasil Central, são paisagens distintas, (0,5 a 20,0 m de diâmetro, 0,2 a 2,0 m de altura) e ocorrem em áreas dispersas sobre uma superfície coberta de grama (Furley, 1986). Os murundus, geralmente diferem da superfície envolvente e ocorrem principalmente em áreas com excesso de água sazonal causada por águas subterrâneas ou por inundações. Em tais situações, são verdadeiras ilhas durante a estação chuvosa, protegido contra a saturação ou inundação, tendo as plantas lenhosas do cerrado e grandes ninhos de cupins, que contribuem para sua aparência característica.

Há duas hipóteses que explicam a origem dos murundus no Brasil Central: sendo uma biológica e outra geomorfológica. A hipótese biológica vincula a origem dos murundus às atividades de cupins, cujo solo formou-se a partir da construção dos ninhos pelos cupins e da erosão e degradação de numerosas gerações de cupinzeiros, em um longo processo de sucessão (Oliveira-Filho, 1992a). Já a hipótese geomorfológica (Furley, 1986) vincula a formação dos murundus como resultado de processos erosivos do solo.

A dinâmica da água possui comportamento típico, diretamente ligado ao regime pluviométrico, mantendo-se saturados ou supersaturados em água nos meses chuvosos, esvaziando-se lenta e continuamente nos meses secos, por meio do rebaixamento do nível freático.

A textura dos solos varia de areno-argilosa a argilosa. A base dos murundus apresenta uma vegetação graminosa e herbácea, que é coberta quase todo o ano, por uma lâmina d'água de altura variável e os murundus, cobertos por vegetação arbustivo-arbórea de cerrado, não são atingidos pela água. A característica mais notável desses solos é a presença de concreções ferruginosas formando o horizonte plíntico. Solos com plintita e concreções ferruginosas ocorrem em grandes extensões no Brasil (Anjos et al., 1995; Batista & Santos, 1995). A plintita é definida como uma formação constituída de mistura de material de argila com grãos de

quartzo e outros minerais, pobre em carbono e rica em Fe, ou Fe e Al, que, sob vários ciclos de umedecimento e secagem, se consolida irreversivelmente (Embrapa, 1999; Oliveira, 2001). Sua gênese está relacionada à segregação, mobilização, transporte e concentração de íons e compostos de Fe. O Fe ora existente tanto pode ser proveniente do material de origem, como translocado de outros horizontes ou proveniente de áreas adjacentes mais elevadas (Driessen & Dudal, 1989).

Essa classe compreende solos formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, que tem como consequência a formação de um horizonte plíntico (Embrapa, 1999, 2006). O impedimento à livre drenagem pode ser resultante da existência de um lençol freático mais superficial em algum período do ano, o que ocorre em áreas de cotas inferiores com relevo plano, como depressões, baixadas, terços inferiores de encostas, ou devido à existência de camadas concrecionárias ou materiais de texturas argilosas, como nas áreas de surgente em condições de clima tropical úmido.

As tentativas de utilização das áreas dos covais podem gerar alguns problemas, visto que o lento escoamento forma uma lâmina d'água, que pode vir a favorecer o desenvolvimento da fauna limnológica, provocando, na lavoura, doenças fúngicas, como também, não permitindo a operacionalização do solo por meio de tratores e colheitadeiras (Castro Junior, 2002). Segundo o autor, este problema tem sido resolvido com o rebaixamento do nível freático, por meio da escavação de uma rede de valetas que promovem o escoamento das águas desse lençol suspenso nos horizontes mais superiores do solo e na superfície do terreno, direcionando-as para o canal fluvial.

Desta forma, as águas retidas pelo solo durante as chuvas intensas, que normalmente demandariam um certo tempo para escoar para o canal fluvial, por meio da rede de valetas escavadas, ocorre a mudança na velocidade de escoamento, drenando-se em apenas algumas horas, eliminando assim, o problema que os solos supersaturados, com lâmina d'água na superfície do terreno, causam para o bom desenvolvimento da agricultura (Castro Junior, 2002).

Em geral o lençol freático se mantém próximo ou à superfície pela maior parte do ano, constituindo-se na principal limitação ao seu aproveitamento agrícola. Este

fato faz com que a utilização destes solos fique restrita a culturas de ciclo curto, nas épocas não chuvosas, ou então à utilização de culturas adaptadas às condições de saturação, como por exemplo, o arroz de várzea.

Do ponto de vista agrônômico, portanto, podem ser solos com problemas de toxicidade por alumínio, como nos álicos. São solos que apresentam restrições ao aproveitamento agrícola, devido principalmente às oscilações do lençol freático, inundações periódicas e presença da plintita. Segundo Oliveira et al. (1992), a plintita quando submetida a secamento e umedecimento sistemáticos, transforma-se gradualmente em petroplintita. Quando a petroplintita se encontra pouco profunda e formando uma camada contínua e espessa, as limitações do solo à utilização agrícola tornam-se ainda mais sérias, pois a permeabilidade, a restrição ao enraizamento das plantas e o impedimento ao uso de equipamentos agrícolas podem tornar-se críticos. Essa classe compreende solos de drenagem variável. Portanto, há ocorrência de solos nos quais há excesso d'água temporário e outros com excesso prolongado durante o ano, condições que constituem limitações importantes para seu aproveitamento.

Uma das justificativas apontadas por alguns ambientalistas para a não utilização dessas áreas está no fato de que a erosão laminar alongaria os murundus levando uma fina camada de solo sobre os campos que os circundam, mas suficientes para produzir uma resposta diferenciada da vegetação já que as mesmas estão adaptadas a áreas mais úmidas. Além disso, constituem área de alimentação de certos mamíferos e ainda, para serem utilizáveis para agricultura, estas áreas necessitam ser drenadas, o que também influencia nas relações ecológicas locais. Assim, por apresentarem características tão peculiares do restante do sistema, eles afirmam a necessidade de preservação destas áreas.

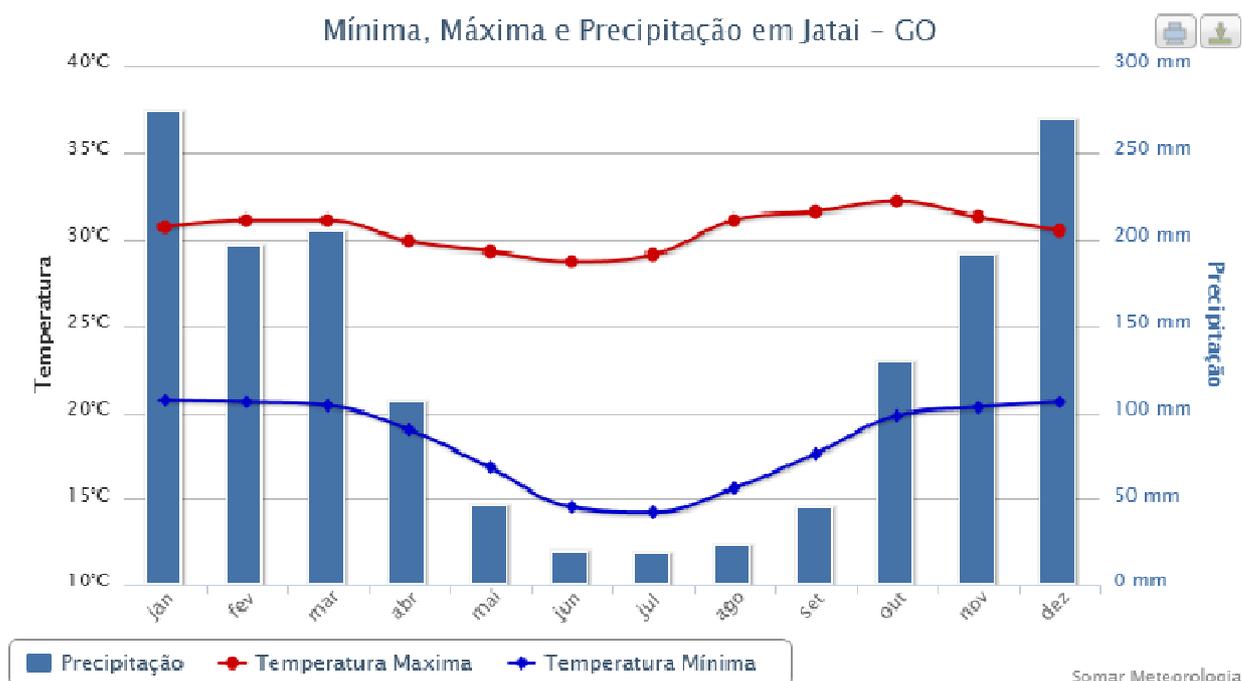
A fragilidade e importância desse ambiente culminaram na Lei estadual nº 16.513 de 26/10/2007, onde os campos de murundus passaram a ser considerados “Áreas de Preservação Permanente”, por constituírem área de reserva de biodiversidade, tanto de flora como da fauna.

### **3 – MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Localização e identificação da área**

O estudo foi desenvolvido em áreas pertencentes à Fazenda Boa Vista, localizada na porção oeste do município de Jataí, Estado de Goiás (17°57'59"S 52°04'35" W), na região do Rio Ariranha, contribuinte da margem direita do Rio Claro. Esta região é explorada preferencialmente com agricultura devido à topografia plana a suave ondulada. A atividade agrícola na propriedade iniciou-se em 1994 e atualmente são cultivados soja e milho como culturas principais, milho e sorgo em sucessão à soja na "safrinha", em sistema de plantio direto, num modelo de exploração típico da agricultura da região.

O clima da região segundo a classificação de Koepen é do tipo Cw, mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definida. A temperatura média no inverno varia entre 10 e 27 °C, podendo a temperatura chegar a menos de 5 °C, já no verão varia entre 18 a 35 °C, podendo chegar à 38 °C. A precipitação média anual varia entre 1600 e 1800 mm, sendo que há uma estação quente e chuvosa na primavera-verão, de outubro a abril, e outra com clima mais ameno e seco no outono-inverno (Figura 1).



**Figura 1.** Normais climatológicas, média do período 1961-1990, do município de Jataí/GO.  
 Fonte: Tempo Agora ([www.tempoagora.com.br/previsãodotempo.html/brasil/climatologia/Jataí-GO/](http://www.tempoagora.com.br/previsãodotempo.html/brasil/climatologia/Jataí-GO/)).

Em cerca de 30% da Fazenda Boa Vista ocorre a fitossociologia denominada de campo de murundus ou coval, sendo que aproximadamente metade dessas áreas foram convertidas para a atividade agrícola em três épocas: 1994, 1999 e 2003. A topografia das áreas convertidas para agricultura é plana e apresentam microrrelevos de até cerca de 0,70 a 0,80 m de altura e 10,0 a 12,0 m de diâmetro. A área nuclear do campo de murundus, onde predominam os microrrelevos mais altos, com até cerca de 2,0 m de altura e 20,0 m de diâmetro, está preservada, embora circundada pelas áreas agrícolas e drenos de encosta. Até 1999 era utilizada frequentemente como pastagem natural, e desde então está preservada, inclusive sem ocorrência de queimadas.

O presente estudo trata-se da avaliação de uma cronosequência de interferência antrópica sendo 7 (PD 7), 11 (PD 11) e 16 (PD 16) anos de uso agrícola com soja na safra e milho na safrinha em plantio direto e uma área de referência sem intervenção antrópica, caracterizada como um campo de murundus (Figura 2). Esta área nativa de referência é composta do topo (CT) e da base dos murundus (CB), que vem a representar dois tratamentos diferentes em função da

disparidade observada entre o relevo dos mesmos. Os tratamentos constaram de 4 repetições inverno de 2010.



**Figura 2.** Imagem de satélite das áreas estudadas na Fazenda Boa Vista - Município de Jataí/GO, (Fonte: [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)).

### 3.2 – Histórico da área

A classe de solo estudada foi um Plintossolo Háplico (Embrapa, 1999), sendo que o solo destas áreas apresenta textura argilosa na camada de 0 a 20 cm, (em média 450, 50 e 500 g dm<sup>-3</sup> de argila, silte e areia, respectivamente). Compreende solos formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, que tem como consequência a formação de um horizonte plíntico (Embrapa, 1997, 2006) e de concreções ferruginosas conhecidas como plintita (Anjos et al., 1995). O horizonte plíntico apresenta mais de 0,80 m de

espessura, iniciando aos 0,85 m de profundidade logo abaixo de um horizonte de cores pálidas.

As coberturas vegetais dos covais diferem em composição e estrutura, sendo que em sua base há uma flora hidrófila, essencialmente graminácea, tolerantes ao alagamento. No topo, a vegetação se diversifica e compreende também espécies lenhosas relacionadas à melhor drenagem do solo existente.

A transformação dessas áreas para a agricultura ocorreu no período de estiagem e iniciou-se com a queima da vegetação presente para remover o excesso de material seco, após o aceiramento e o solo preparado com grade aradora.

Os micorrelevos da área foram escarificados ou subsolados e em seguida decapitados com lâminas frontais e de arrasto, removendo o solo para entre os murundus em processos sucessivos até o completo aplainamento do terreno. Estabeleceu-se também uma rede de drenagem com espaçamento entre drenos de cerca de 100 m.

Na abertura da área correspondente a 7 anos de SPD, aplicou-se  $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (28% de CaO, 15% de MgO e 67% de PRNT), em dosagem calculada para elevar a saturação por bases a 70%, dividida em duas aplicações, seguidas de incorporação com grade aradora, e iniciou-se o plantio de lavouras anuais em 2004. Após o início das chuvas e antes do plantio, distribuiu-se fosfato natural reativo a lanço, em dosagem calculada para  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , incorporando com grade niveladora a 5 a 7 cm de profundidade. Também foram aplicadas  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso agrícola e  $550 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato natural reativo de Arad (33% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), incorporados com grade niveladora. No decorrer, recebeu mais uma calagem em 2005 e outra em 2008, cada uma de  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (32% de CaO, 10% MgO e 80% de PRNT), incorporados com grade niveladora, para elevar a saturação por bases a 60%. A sequência dos cultivos e as produtividades obtidas na área com 7 anos constam na Tabela 1.

**Tabela 1.** Cultivos realizados e produtividades obtidas em um Plintossolo Háplico do município de Jataí-GO, com 7 anos de uso agrícola

Safr	Cultura Principal (Safr)		Cultura em Sucessão (Safrinha)	
	Lavoura	kg.ha <sup>-1</sup>	Lavoura	kg.ha <sup>-1</sup>
2003/04	Soja Emg-313	2.700	Milheto	_( <sup>2</sup> )
2004/05	Soja Conquista	3.120	Sorgo	3.000
2005/06 <sup>(1)</sup>	Soja Emg-316	3.360	Sorgo	3.000
2006/07	Soja Emg-316	3.120	Milho	4.800
2007/08	Soja CD-217	3.120	-	-
2008/09 <sup>(1)</sup>	Milho DKB 177	8.400	-	-
2009/10 <sup>(3)</sup>	Soja NA 7337 RR	3.210	Milho	7.320

<sup>(1)</sup> Antecedida de calagem superficial com 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 80% de PRNT;

<sup>(2)</sup> Não determinado;

<sup>(3)</sup> Após a amostragem do solo.

No processo de abertura da área correspondente a 11 anos de SPD, ocorrida em 1999, a mesma encontrava-se parcialmente em pastagem de *Brachiaria ruziziensis* de baixa capacidade de lotação, por ter sido implantada sem adição de fertilizantes e corretivos, com pequena parte em vegetação natural característica do campo de murundus e ainda com os microrrelevos. Foram aplicadas no ano de 2000, 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (28% de CaO, 15% de MgO e 67% de PRNT) e 560 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo Daoui, com 32% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, incorporados com grade niveladora. Foram realizadas outras duas calagens, em 2001 e 2007, com 3,0 e 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de calcário dolomítico (32% de CaO, 10% MgO e 80% de PRNT), incorporado com grade aradora, para elevar a saturação por bases a 60%. O preparo do solo com grade aradora, por ocasião das calagens foi realizado para uniformizar o terreno para exploração agrícola, tendo em vista que quando da abertura, este não foi devidamente aplainado e apresentava irregularidades, prejudicando os procedimentos agrícolas. A sequência de cultivos e as produtividades obtidas na área com 11 anos constam na Tabela 2.

**Tabela 2.** Cultivos realizados e produtividades obtidas em um Plintossolo Háplico do município de Jataí-GO, com 11 anos de uso agrícola

Safr	Cultura Principal (Safr)		Cultura em Sucessão (Safrinha)	
	Lavoura	kg.ha <sup>-1</sup>	Lavoura	kg.ha <sup>-1</sup>
1999/00	Soja Emg-313	2.520	-	-
2000/01	Soja Emg-313	2.400	-	-
2001/02 <sup>(1)</sup>	Soja Emg-315	3.000	Sorgo	3.600
2002/03	Soja Emg-302	1.980 <sup>(3)</sup>	Milho	7.080
2003/04	Soja Tucunaré	3.120	Sorgo	3.240
2004/05	Soja Emg-316	3.000	Milho	6.600
2005/06	Soja Msoy 8001	3.360	Milho	5.880
2006/07	Soja CD-217	3.420	-	-
2007/08 <sup>(2)</sup>	Milho AS 1575	8.700	-	-
2008/09	Soja Anta 82 RR	3.800	-	-
2009/10 <sup>(4)</sup>	Soja Anta 82 RR	3.960	Milho	8.020

<sup>(1)</sup> Antecedida de calagem incorporada com 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 80% de PRNT;

<sup>(2)</sup> Antecedida de calagem incorporada com 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 80% de PRNT;

<sup>(3)</sup> A cultura foi severamente atingida por nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines*);

<sup>(4)</sup> Após a amostragem.

No processo de abertura da área correspondente a 16 anos de SPD em 1994, a mesma encontrava-se em pastagem de *Brachiaria ruziziensis* de baixa capacidade de lotação, implantada em consórcio com arroz por volta dos anos 80, sem adição de corretivos. Até a safra 1995/96, foi cultivada em sistema convencional e recebeu calagens com altas doses de calcário dolomítico. Em 1997, a área encontrava-se manejada em sistema de plantio direto, e desde então vêm sendo explorada. No início do plantio, aplicou-se 1 Mg ha<sup>-1</sup> fosfato reativo (33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso. Foi realizada mais uma calagem, em 2005, com 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (32% de CaO, 10% MgO e 80% de PRNT), incorporado com grade niveladora, para elevar a saturação por bases a 55%. A sequência de cultivos e as produtividades obtidas na área com 16 anos constam na Tabela 3.

**Tabela 3.** Cultivos realizados e produtividades obtidas em um Plintossolo Háplico do município de Jataí-GO, com 16 anos de uso agrícola

Safr	Cultura Principal (Safr)		Cultura em Sucessão (Safrinha)	
	Lavoura	kg.ha <sup>-1</sup>	Lavoura	kg.ha <sup>-1</sup>
1997/98	Soja Emg-302	2.880	Milho	4.800
1998/99	Soja Emg-316	3.000	Milho	4.920
1999/00	Soja Emg-302	3.000	Milho	5.000
2000/01	Soja Msoy 6101	3.120	Milho	5.200
2001/02	Soja Msoy 6101	3.000	Milho	3.000 <sup>(1)</sup>
2002/03	Soja Emg-316	3.300	Milho	6.300
2003/04	Soja Msoy 6101	3.300	Milho	6.000
2004/05	Soja Msoy 6101	3.000	Milho	6.600
2005/06 <sup>(3)</sup>	Soja Msoy 6101	2.100 <sup>(2)</sup>	-	-
2006/07	Soja Emg-316	3.480	Milho	6.000
2007/08	Soja Msoy 6101	3.420	Milho	6.000
2008/09	Soja NK 7074 RR	4.080	-	-
2009/10 <sup>(4)</sup>	Soja NA 7337 RR	4.260	Milho	7.500

<sup>(1)</sup> Atingido por encharcamento;

<sup>(2)</sup> Atingida severamente por corós (*Lyogenis spp*);

<sup>(3)</sup> Antecedida de calagem superficial com 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 80% de PRNT;

<sup>(4)</sup> Após a amostragem.

Na safra de safra 2007/08 a área de 7 anos, foi cultivada com soja no verão, utilizando-se a cultivar Coodetec CD-217, com adubação de 450 kg de 2-20-18. A área for mantida em pousio na safrinha, recebendo uma calagem de 1 t/ha de calcário calcítico (80% PRNT) e incorporado com niveladora fechada. Já na safra 2008/09 foi cultivado milho verão com adubação de 420 kg de 10-24-12 NPK + 100 kg de KCl + 300 kg de sulfato de amônio (SA) em sistema de plantio direto, com pousio na safrinha. Na safra 2009/2010, foi cultivada soja, cultivar Nidera NA 7337RR, recebendo adubação de 350 kg de 2-24-12 NPK + 100 kg de KCl e milho safrinha adubado com 300 kg de 12-15-15 + 200 kg de SA.

Na safra de safra 2007/08 na área de 11 anos, foi cultivado milho verão adubado com 400 kg de 10-24-12 NPK + 100 kg de KCl + 300 kg de SA, em sistema de plantio convencional sobre duas gradagens e mantendo-se a área em pousio na

safrinha, sendo feita uma calagem antes do milho. Na safra 2008/2009 foi cultivada Anta 82RR na safra verão, com 300 kg de 2-24-12 NPK + 100 kg de KCl e milho safrinha com 300 kg de 12-15-15 NPK + 200 kg de SA. Na safra 2009/10, a área recebeu soja, cultivar Anta 82RR, com adubação de 300 kg de 2-24-12 NPK + 100 kg de KCl e milho safrinha com 300 kg 12-15-15 NPK + 200 kg de SA.

Na safra de safra 2007/08 a área de 16 anos, foi cultivada soja na safra, com a cultivar M-Soy 6101, adubada com 400 kg de 2-20-18 NPK, e posteriormente plantado milho safrinha, adubado com 300 kg de 12-15-15 NPK + 200 kg de SA. Já na safra 2008/09, foi cultivado soja na safra com a cultivar Syngenta NK 7074RR com 300 kg de 2-24-12 NPK + 100 kg de KCl e milho safrinha adubado com 300 kg 12-15-15 NPK + 200 kg SA. Na safra 2009/10, a área recebeu soja verão, cultivar Nidera NA 7337RR com adubação de 300 kg de 2-24-12 NPK + 100 kg de KCl e milho safrinha adubado com 300 kg 12-15-15 NPK + 200 kg de SA.

Os fertilizantes utilizados nos plantios foram aplicados em linha, com semeadoras-adubadoras, utilizando-se preferencialmente adubos formulados de baixa concentração e com micronutrientes (Zn, Cu, Mn e B). Nas últimas 4 safras de soja optou-se pelo parcelamento do potássio, sendo 40% no plantio e 60% a lanço, antes do plantio.

### **3.3 – Coleta do solo**

Em cada área foram demarcados polígonos de 100x100 m através de programa computacional formando um grid. Após isso o programa sorteou um polígono aleatoriamente. Dentro de cada área e dentro de cada polígono foram retirados 5 subamostras, em zig zag. Por se tratar de um estudo ecológico e estar localizado em um mesmo tipo de solo, optou-se por casualizar os pontos de amostragem dentro de cada área e testar antes da análise de variância se havia homogeneidade de variância entre elas. Após isso os dados foram analisados em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco pseudo-repetições. O uso de pseudo-repetições é um procedimento comumente utilizado em estudos ecológicos e é descrito em detalhes por Hurlbert (1984). As áreas estão localizadas uma do

lado da outra com mesmas condições topográficas, climáticas, de solo, e condução dos sistemas de manejo, diferindo somente no período de implantação e manejo.

Conforme as épocas de conversão para exploração agrícola (1994, 1999 e 2003), os tratamentos foram divididos em relação às áreas, que apresentavam 7, 11 e 16 anos conduzidos em sistema de plantio direto. Para avaliação dos atributos químicos amostrou-se a área referência, e nas áreas com 7, 11 e 16 anos. Na área referência a amostragem foi realizada sobre os murundus e entre estes. A amostragem do solo foi realizada em quatro repetições e estratificada em seis profundidades nas camadas de 0,025; 0,025 a 0,05; 0,05 a 0,075; 0,075 a 0,10; 0,10 a 0,15 e 0,15 a 0,20 m, respectivamente, realizadas no mês de setembro de 2010 na época de seca, já que parte das áreas, principalmente a sem interferência, no período chuvoso fica alagada, impossibilitando a coleta do material. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da UFG – Campus Jataí, sendo peneiradas (malha de 2mm de abertura), para retirada de restos vegetais como raízes, pequenos insetos ou outros organismos da fauna do solo. Para as análises químicas e de textura, as amostras foram secas ao ar e armazenadas para posteriormente serem analisadas. As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFRGS. Os resultados de caracterização química dos tratamentos encontram-se apresentados na Tabela 4.

As áreas foram caracterizadas conforme as formas de ferro no solo, bem como o ferro total (Tabela 5), homogeneizando-se o solo na camada de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm de todos os tratamentos em questão. O ferro total ( $Fe_t$ ) foi extraído por HCl 6 mol L<sup>-1</sup> (Fey & Dixon, 1983; Dick, 1986), enquanto o ferro referente aos óxidos de ferro de baixa cristalinidade ( $Fe_o$ ) foi extraído com oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> (Schwertmann, 1964; McKeague & Day, 1966). Os óxidos de ferro pedogênicos de alta cristalinidade ( $Fe_d$ ) foram extraídos por DCB (Ditionito - Citrato – Bicarbonato) a 80 °C (Mehra & Jackson, 1960; Holmgren, 1967), em duas extrações sucessivas.

**Tabela 4.** Atributos químicos de um Plintossolo Háplico, de cerrado no município de Jataí/GO

Áreas	Prof	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	K	P	MOS	SB	CTC	V%
	(cm)	(H <sub>2</sub> O)	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				- mg dm <sup>-3</sup> -		g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%	
7 anos	0,0 - 2,5	6,8	5,0	0,1	4,5	2,1	0,19	74,7	6,3	3,2	6,8	11,9	57,6
	2,5 - 5,0	7,0	4,2	0,0	4,4	2,0	0,09	33,2	5,8	3,1	6,5	10,6	60,9
	5,0 - 7,5	6,6	5,2	0,0	3,7	0,8	0,07	27,2	12,4	2,7	4,6	9,8	46,7
	7,5 - 10,0	6,2	6,2	0,0	2,3	0,8	0,05	21,1	4,0	2,1	3,2	9,4	34,0
	10,0 - 15,0	5,7	8,1	0,2	1,2	0,7	0,05	21,1	2,5	2,0	1,9	10,0	19,0
	15,0 - 20,0	5,2	8,7	0,5	0,6	1,2	0,06	24,1	1,2	2,1	1,9	10,6	17,6
11 anos	0,0 - 2,5	6,4	2,1	0,2	4,2	1,6	0,25	97,6	4,5	3,7	6,0	8,1	73,9
	2,5 - 5,0	6,3	2,0	0,1	3,4	1,8	0,13	50,4	3,0	3,0	5,3	7,3	72,8
	5,0 - 7,5	6,2	2,2	0,1	2,7	1,0	0,07	27,9	5,0	2,9	3,8	6,0	63,1
	7,5 - 10,0	6,0	2,7	0,1	2,3	1,1	0,07	26,4	6,8	2,1	3,5	6,2	56,4
	10,0 - 15,0	5,7	2,2	0,2	1,8	0,9	0,06	22,4	3,8	2,4	2,7	5,0	55,3
	15,0 - 20,0	5,7	2,0	0,3	0,8	0,7	0,06	23,8	0,7	2,5	1,6	3,5	44,4
16 anos	0,0 - 2,5	6,3	1,7	0,1	4,3	2,3	0,26	102,2	4,2	4,2	6,8	8,5	80,3
	2,5 - 5,0	6,3	1,9	0,0	3,7	1,9	0,18	70,2	3,9	3,1	5,7	7,6	75,6
	5,0 - 7,5	6,1	2,4	0,0	3,5	1,8	0,13	49,4	14,1	2,9	5,4	7,8	69,2
	7,5 - 10,0	6,0	5,9	0,0	1,1	0,5	0,11	44,7	12,0	3,2	1,7	7,6	22,4
	10,0 - 15,0	5,9	5,9	0,1	0,7	0,5	0,08	29,8	2,5	2,4	1,3	7,2	17,5
	15,0 - 20,0	5,5	4,6	0,1	0,5	0,8	0,07	25,8	0,9	1,9	1,4	6,0	22,8
Coval Topo	0,0 - 2,5	5,2	7,4	1,0	0,0	0,4	0,07	26,5	0,7	3,0	0,5	7,9	6,0
	2,5 - 5,0	5,3	7,3	0,8	0,0	0,3	0,09	34,0	0,7	2,9	0,4	7,7	5,6
	5,0 - 7,5	5,3	6,0	0,7	0,0	0,3	0,05	19,4	0,8	3,9	0,4	6,3	5,7
	7,5 - 10,0	5,4	7,0	0,7	0,0	0,5	0,07	26,5	1,3	2,6	0,6	7,6	7,9
	10,0 - 15,0	5,3	6,6	0,6	0,0	0,2	0,05	20,1	0,5	2,1	0,3	6,9	3,8
	15,0 - 20,0	5,3	6,8	0,5	0,0	0,8	0,05	21,1	0,3	1,7	0,8	7,6	11,1
Coval Base	0,0 - 2,5	5,4	6,4	0,6	0,0	0,4	0,04	16,3	1,0	5,2	0,4	6,9	6,5
	2,5 - 5,0	5,7	5,5	0,5	0,0	0,2	0,05	18,4	0,6	4,0	0,3	5,8	4,6
	5,0 - 7,5	5,7	5,2	0,5	0,0	0,2	0,04	14,6	0,5	3,7	0,2	5,4	3,7
	7,5 - 10,0	5,9	4,6	0,4	0,0	0,2	0,04	14,0	0,5	3,7	0,2	4,8	4,7
	10,0 - 15,0	5,5	4,0	0,3	0,0	0,2	0,04	15,6	0,3	2,6	0,2	4,3	5,7
	15,0 - 20,0	5,9	3,4	0,2	0,0	0,1	0,04	15,6	0,9	2,0	0,2	3,6	5,2

Extratores: pH em água 2:1; Al e Ca, extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; K e P, extraídos por Mehlich I. Carbono orgânico extraído por Walkley-Black, descrito por Allison (1965). MOS obtida multiplicando-se o teor de C orgânico por 1,72 (fator de Van Bemmelen).

**Tabela 5.** Formas de ferro e suas respectivas relações nas amostras.

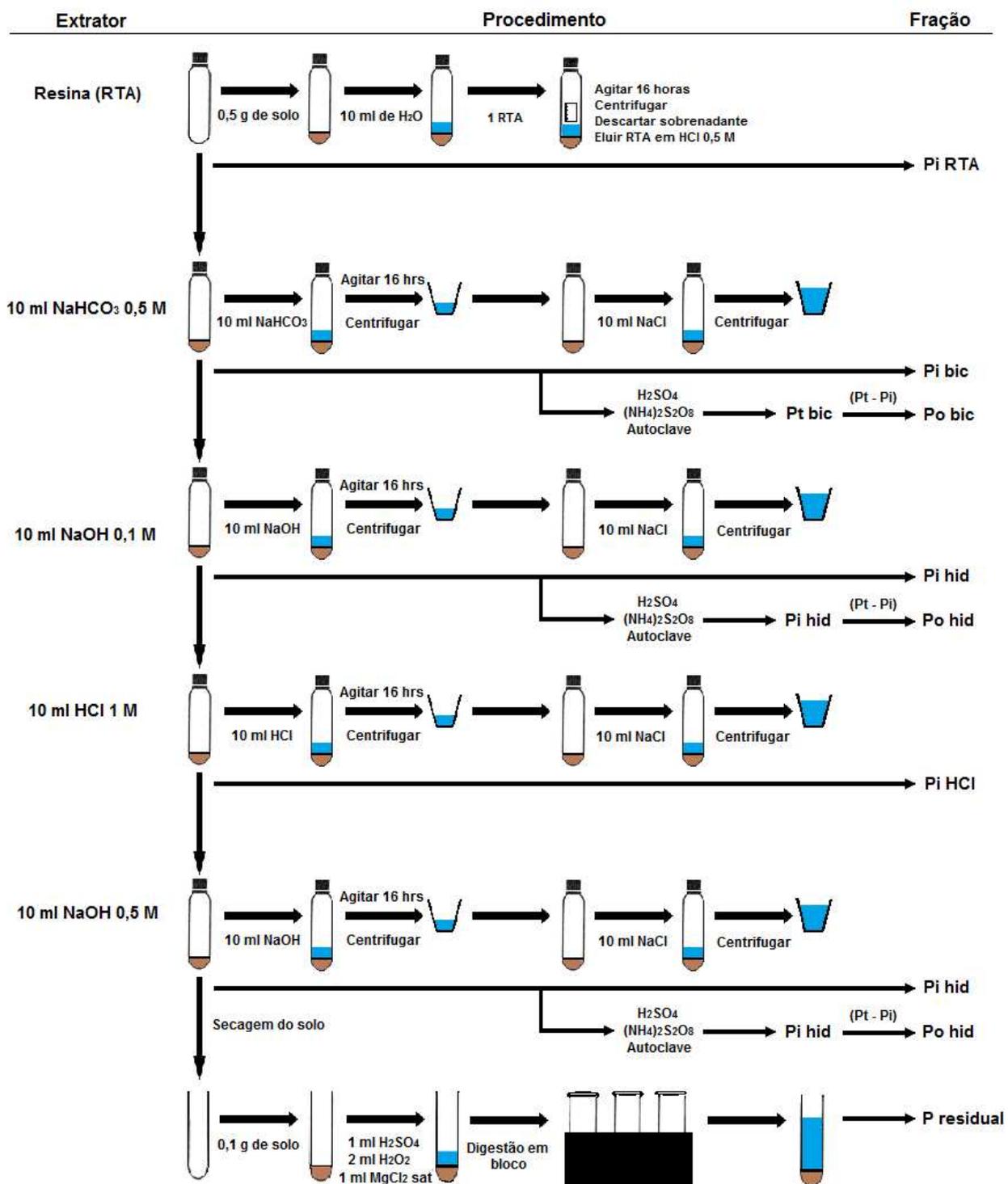
Áreas	Prof	Ferro total (Fe <sub>t</sub> )	Ferro ditonito (Fe <sub>d</sub> )	Ferro oxalato (Fe <sub>o</sub> )	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
	(cm)	----- g/kg -----				
7 anos	0,0 - 10,0	34,78	25,48	0,67	0,73	0,03
	10,0 - 20,0	43,34	28,24	0,74	0,65	0,03
11 anos	0,0 - 10,0	50,40	40,88	0,82	0,81	0,02
	10,0 - 20,0	52,50	48,38	0,79	0,92	0,02
16 anos	0,0 - 10,0	59,47	43,08	0,73	0,72	0,02
	10,0 - 20,0	62,13	45,71	0,74	0,74	0,02
Coval Topo	0,0 - 10,0	11,54	7,15	0,92	0,62	0,13
	10,0 - 20,0	9,31	5,90	0,93	0,63	0,16
Coval Base	0,0 - 10,0	10,75	5,15	0,62	0,48	0,12
	10,0 - 20,0	9,87	7,62	0,52	0,77	0,07

### 3.4 – Fracionamento do fósforo

Para o fracionamento do P (Figura 3), utilizaram-se amostras de solo contendo 0,5 gramas, as quais foram submetidas a diferentes extratores num esquema seqüencial proposto por Hedley et al. (1982), modificado por Condon et al. (1985). O primeiro passo foi à extração do P via resinas em lâminas saturadas com bicarbonato de sódio. Na mesma amostra, foi adicionado bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, para extrair o P inorgânico adsorvido e o Po lábil. Posteriormente, foi extraído o P solúvel em hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup>, para extrair o P quimiossorvido por Fe e Al e o Po. Com ácido clorídrico 1,0 mol L<sup>-1</sup>, foi extraído o P fortemente ligado a fosfatos de cálcio. Em seguida, adicionou-se hidróxido de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> para extrair o P inorgânico e orgânico. No resíduo desse processo, se extrai o P residual por digestão com ácido sulfúrico + água oxigenada + cloreto de magnésio saturado (Brookes & Powlson, 1981). O P inorgânico dos extratos alcalinos de bicarbonato de sódio e de hidróxido de sódio será analisado pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977). Nos extratos alcalinos, determinará o P total por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971), em que o P orgânico é obtido pela diferença entre o P total e o P inorgânico. O P dos extratos ácidos será determinado segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Com relação à labilidade, foram consideradas como P lábil, as frações de  $P_i$  extraído por resina e os teores de  $P_o$  e  $P_i$  extraídos por bicarbonato de sódio; como P moderadamente lábil, os teores de P total extraídos pelas duas concentrações de hidróxido de sódio e, como P pouco lábil, os teores extraídos com ácido clorídrico e água oxigenada e ácido sulfúrico (residual).

Os estoques de P lábil foram calculados com base em massas equivalentes de solo (Ellert & Bettany, 1995), o qual utilizou como referência a massa do solo em campo nativo, através dos valores de densidade do solo nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm. Os estoques foram obtidos com referência ao P lábil extraídos com resina e bicarbonato na camada de 0 a 20 cm e posteriormente transformados em kg de  $P_2O_5$ .



**Figura 3.** Esquema da técnica do fracionamento de fósforo proposto por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condon et al. (1985).

### **3.5 – Análise estatística**

Os resultados das análises de solo foram avaliados isoladamente por camadas e submetidos à análise de variância e, quando significativos, empregou-se o teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) com auxílio do aplicativo estatístico SISVAR.

#### 4 – REFERÊNCIAS

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

ANJOS, L.H.C.; FRANZMEIER, D.P. & SCHULZE, D.G. Formation of soil with plinthite on a topossequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**, v.64, p.257-279, 1995.

ARAÚJO, M.S.B. & SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.643-650, 1997.

ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.389-396, 1993.

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.243-249, 1983.

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. **New York, John Wiley & Sons**, v.2, p.330-338, 1995.

BATISTA, M.A. & SANTOS, M.C. Morfologia e gênese de dois solos com plintita da região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19 p.287-296, 1995.

BECK, M.A. & SANCHEZ, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.1424-1431, 1994.

BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.369-374, 1990.

BROOKES, P.C. & POWLSON, D.S. Preventing phosphorus losses during perchloric acid digestion of sodium bicarbonate soil extracts. **Journal of Science and Food Agriculture**, London, v.32, p.671-674, 1981.

CASTRO-JÚNIOR, P.R. **Uso e ocupação dos solos em Campos de Murundus do Planalto dos Parecis**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2002. 193p. Tese (Tese de Doutorado).

CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84, p.133-144, 1957.

CHAPIUS LARDY, L.; BROSSARD, M.; LOPES ASSAD, M.L. & LAURENT, J.Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, **Brazil. Agric. Ecosyst. Environ**, v.92, p.147-158, 2002.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M. & NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v 36, p.199-207, 1985.

CONTE, E. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no sistema plantio direto**. Porto Alegre, Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 65p. (Dissertação de Mestrado).

CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no

sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.925-930, 2002.

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

CROSS, A.F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v 64, p.197-214, 1995.

DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A. & RUPA, T.R. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. **Biores. Technol**, v.75, p.113-118, 2000.

DAROUB, S.H.; PIERCE, F.J. & ELLIS, B.G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.64, p.170-176, 2000.

DEAN, L.A. Distribution of the forms of soil phosphorus. **Soil Science Society of American Journal**, v.2, p.223-227, 1937.

DICK, D.P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 196p. (Dissertação de Mestrado).

DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.6, p.82-85, 1977.

DRIESSEN, P.M. & DUDAL, R. Lecture notes on the geography, formation, properties and use of the major soils of the world. **Wageningen**, Agricultural University / Katholieke, Universiteit Leuven, 296p, 1989.

EGHBALL, B.; BINFORD, G.D. & BALTENSPERGER, D.D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. **J. Environ. Qual**, v.25, p.1339-1343, 1996.

ELLERT, B.H. & BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Can. J. Soil Sci**, v.75, p.529-538, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro. 212 p, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 412p, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; FURTINI, A.E. & CURI, N. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.373-383, 2002.

FEY, M.U. & DIXON, J.B. Rapid estimation of iron oxides in soils and clays by spectrophotometric analysis. **Soil Science Society of American Journal**, v.17, p.1261-1263, 1983.

FURLEY, P.A. Classification and distribution of murundus in the cerrado of central Brazil. **Journal of Biogeography**, v.13, p.265-268, 1986.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 245 p. (Tese de Doutorado).

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**, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, A.F.C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. & LIMA, M.A.S. Phosphorus forms and availability assessed by  $^{31}\text{P}$ -NMR in successively cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.2625-2640, 2005.

HARRISON, A.F. Soil organic phosphorus. **Wallingford**, CAB International, p.257, 1987.

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 American Journal**, Madison, v.46, p.970-976, 1982.

HOLMGREN, G.G.S. A rapid citrat-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of American Journal**, v.31, p.210-211, 1967.

MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L. & VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.331-336, 1993.

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: **Agronômica Ceres**, p.528, 1976.

MARCOLAN, A.L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 124p. (Tese de Doutorado).

McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Can. J. Soil Sci**, v.46, p.13-22, 1966.

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: **CLAYS & CLAY MINERAL CONFERENCE**, 7. Proceedings. London, v.7, p.317-327, 1960.

MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A.E. & LIMA, J.M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.349-359, 2002.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v.27, p.31-36, 1962.

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

OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. **Jaboticabal**, FUNEP, p.414, 2001.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil; Guia auxiliar para seu reconhecimento. 2.ed. **Jaboticabal**, FUNEP, 201p, 1992.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. Floodplain "Murundus" of Central Brazil: evidence for the thermie-origin hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, 8 (1): 1-19. 1992 (a).

RAIJ, B.Van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Piracicaba: Ceres, Potafós. Relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.369-374, 1991.

RESENDE, A.V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2004. 169p. (Tese de Doutorado).

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p. 151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.41-49, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.589-597, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J. & GATIBONI, L.G. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.33, p.1053-1059, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C. & HORN, D. Situação da fertilidade dos solos no estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, p.32, 2001. (**Boletim Técnico, 1**).

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.713-721, 1998.

ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.M.; FERNANDES FILHO, E.I. & IBRAIMO, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.28, p.953-964, 2004.

SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T. & ABDALA, S.R.S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, **Potafós**, p.201-220, 2004.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição do solo**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, Cap.2, p.267–319, 1999.

SANTOS, J.Z.L.; NETO, A.E.F.; RESENDE, A.V.de.; CURI, N. CARNEIRO, L.F. & COSTA, S.E.V.G.de.A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.705-714, 2008.

SCHWERTMANN, U. The differentiation of iron oxide in soils by photochemical extraction with ammonium oxalate. Z. **Pflanzetwrnahr. Dung. Bodenkunde**, v.105, p.194-201, 1964.

SILVA, F.C. & RAIJ, B.V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.267-288, 1999.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, **Potafós**, 2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102).

SOUZA, E.D.de. **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**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 124p. (Tese de Doutorado).

STEVENSON, F.J. Humus chemistry. New York, **Jonh Wiley & Sons**, p.496, 1994.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. & COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformation in soils of differing pedogenesis. **Soil Science**, v.48, p.853-858, 1984.

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*. **Methods of chemical analysis for water and wastes**. Cincinnati: USEPA, 1971.

WALKER, T.W. & SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Netherlands, v.15, p.01-19, 1976.

ZHANG, T.Q. & MACKENZIE, A.F. Changes of soil phosphorus fractions under long-term corn monoculture. **Soil science Society of American Journal**, Madison, v.61, p.485-493, 1997.

## 5 – ARTIGO: FRACIONAMENTO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE CULTIVOS SOB PLANTIO DIRETO

Leonardo Ricardo Rotta<sup>(2)</sup>, Diego Oliveira Ribeiro<sup>(2)</sup>, Edicarlos Damacena de Souza<sup>(3)</sup>, Marco Aurélio Carbone Carneiro<sup>(4)</sup>, Helder Barbosa Paulino<sup>(4)</sup>, Ibanor Anghinoni<sup>(5)</sup> & Clistenes Williams Araujo do Nascimento<sup>(6)</sup>

### RESUMO

O histórico de uso e o manejo da adubação influenciam a capacidade de suprimento de fósforo (P) pelo solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as labilidades de P em função do tempo de adoção do sistema plantio direto em um Plintossolo Háplico do cerrado. O experimento foi conduzido em áreas pertencentes à Fazenda Boa Vista, localizada no município de Jataí/Goias. Os tratamentos consistiram na avaliação de uma cronosequência de interferência antrópica, com diferentes anos de adoção do plantio direto, sendo 7 (PD 7), 11 (PD 11) e 16 anos (PD 16). Os teores de fósforo lábil representaram 10, 8 e 9 % do fósforo total do solo, para os tratamentos PD7, PD11 e PD16, com teores variando entre 98,7 e 122,4 mg dm<sup>-3</sup>, demonstrando que o tempo de implantação do sistema não promoveu aumentos significativos a partir de 7 anos. Os maiores teores de fósforo moderadamente lábil foram no PD16>PD11>PD7 (375, 341 e 236 mg dm<sup>-3</sup>), acompanhando a elevação dos teores de óxidos de ferro, sendo esta a fração de maior acúmulo. Independente do tempo de adoção do plantio direto, os teores de fósforo extraídas com Mehlich 1 são inferiores e subestimam os teores disponíveis em comparação com a resina. Os estoques de P lábil no solo estudado são suficientes para manter teores de P disponíveis adequados para as culturas conforme as recomendações para o Cerrado, sem necessidade de suplementação imediata de P via adubações.

- 
- (1) Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás – UFG. Recebido para publicação em e aprovado em.
- (2) Mestrando em Produção Vegetal no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG. CEP 75804-066 Jataí (GO). E-mail: [leonardorotta@gmail.com](mailto:leonardorotta@gmail.com), [diegoribe@yahoo.com.br](mailto:diegoribe@yahoo.com.br)
- (3) Professor Adjunto na Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, sn, Dois Irmãos, Recife/PE. CEP: 52171-900. E-mail: [edicarlos@pq.cnpq.br](mailto:edicarlos@pq.cnpq.br).
- (4) Professor da Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí. Bolsista do CNPq. E-mail: [carbonecarneiro@yahoo.com.br](mailto:carbonecarneiro@yahoo.com.br), [helderlino51@gmail.com](mailto:helderlino51@gmail.com)
- (5) Professor do Departamento de Solos, UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: [ibanghi@ufrgs.br](mailto:ibanghi@ufrgs.br)
- (6) Professor Adjunto IV da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N. Recife, PE, CEP 52171 900. E-mail: [clistenes@pq.cnpq.br](mailto:clistenes@pq.cnpq.br)

Termos de indexação: Estoques de fósforo, fracionamento do fósforo, solo de cerrado.

**SUMMARY: PHOSPHORUS FRACTIONATION AND AVAILABILITY IN A CROPPING CHRONOSEQUENCE UNDER NO TILLAGE**

*The use history and management of fertilization influence the ability to supply phosphorus (P) from the soil. The objective of this study was to evaluate the labilities phosphorus in zero tillage as a function of time of adoption of the system in Haplic Plinthosol savannah. The experiment was conducted in areas belonging to the Fazenda Boa Vista, in the municipality of Jataí/Goiás. The treatments consisted in the evaluation of a chronosequence of anthropogenic interference with different years of adoption of no-till, and 7 (PD 7), 11 (PD 11) and 16 (PD 16). The levels of labile phosphorus accounted for 10, 8 and 9% of total soil phosphorus for treatments PD7, PD11 and PD16, with levels ranging between 98.7 and 122.4 mg dm<sup>-3</sup>, demonstrating that the time of deployment system did not promote significant increases from 7 years. The highest levels were moderately labile phosphorus in PD16> PD11> PD7 (375, 341 and 236 mg dm<sup>-3</sup>), following the elevation of the levels of iron oxides, this being the fraction of greatest accumulation. Regardless of time of adoption of no-till, levels of P extracted with Mehlich 1 are lower and underestimate the levels available compared with the resin. The stocks of labile phosphorus are sufficient to maintain high crop yields, according to the recommendations for the Cerrado, without resorting to additional fertilization.*

*Index terms: Phosphorus stocks, phosphorus fractionation, Cerrado soil.*

## **INTRODUÇÃO**

No Estado de Goiás, os solos do Bioma Cerrado compreendem, predominantemente, Latossolos (52 %), Argissolos (15%), Neossolos (13%), Cambissolos (12%) e Plintossolos (4%) (Sepin, 2005). Em função da sua

predominância, os Latossolos tem recebido maior atenção dos pesquisadores, enquanto algumas classes de solos, como os Plintossolos, tem recebido pouca atenção. Esses Plintossolos muitas vezes ocorrem em paisagens denominadas de “campos de murundus ou coval”. São solos formados em condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, que tem como consequência a formação de um horizonte plíntico (Embrapa, 2006). Para a incorporação destes solos ao processo produtivo são necessários grandes canais de escoamentos que devem ser construídos para rebaixamento do nível freático. Essa ação antrópica promove alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, podendo vir a afetar a dinâmica dos nutrientes no solo.

A expansão e consolidação do sistema de plantio direto no Brasil (FEBRAPDP, 2008) têm provocado maiores alterações na dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera. Desta forma, em relação ao preparo convencional, tem sido verificado que o plantio direto deve ser analisado por um novo prisma (Nicolodi, 2007), considerando as diferenças na dinâmica dos processos de transformações e acúmulo de matéria orgânica e da ciclagem dos nutrientes (Anghinoni, 2007). Dentre os fatores importantes a serem considerados, o tempo de adoção desse sistema deve ser destacado, pois, grande parte das alterações que afetam a qualidade do solo são graduais e não detectadas em curto prazo (Calegari et al, 2008).

No sistema de plantio direto, o P tende a se acumular na superfície devido à aplicação de fertilizantes, ao não revolvimento do solo e à ciclagem de nutrientes e, com o tempo, evolui em profundidade (Bayer, 1992). Esses mesmos fatores afetam a distribuição do P do solo em diferentes frações lábeis, ocorrendo um aumento na labilidade do elemento em relação ao cultivo convencional. Este aumento se dá devido ao maior acúmulo do P na camada superficial, às reações de sorção, à ciclagem e reciclagem e à mineralização dos resíduos que contêm fósforo (Sá, 1999). Além desses fatores, ocorre redução no contato dos colóides com o P pela diminuição da exposição dos sítios de adsorção devido ao não revolvimento do solo. Além disso, com as sucessivas adubações fosfatadas ocorre um aumento da labilidade do fósforo, principalmente na camada superficial (Bravo et al., 2007), em função dos sítios de adsorção, mais ávidos pelo fósforo, serem gradativamente

preenchidos e novas adubações fosfatadas aumentarem as frações mais lábeis. O aumento nos teores de matéria orgânica proporcionados pelo plantio direto e a ligação desta aos colóides do solo, reduzindo as cargas livres dos óxidos que poderiam fixar P, principalmente nos solos do Cerrado, ricos óxidos, os quais têm alta capacidade reter P na fração moderadamente lábil. Independentemente do tipo de solo, do método de preparo, da rotação de cultura ou da camada de solo analisada, as formas de P lábeis e moderadamente lábeis são a maior reserva de P disponível no solo (Selles et al., 1997; Gatiboni et al. 2007). Neste contexto de um sistema no qual o acúmulo de P ocorre em formas menos recalcitrantes e que há um constante aumento da sua labilidade devido as seguidas adubações com o elemento, pode ser possível a diminuição das doses de adubos fosfatados aplicadas em função do tempo de adoção do plantio direto. Visando testar essa hipótese, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar as frações lábeis de P em um Plintossolo Háplico sob plantio direto em função do tempo de adoção do sistema.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em áreas pertencentes à Fazenda Boa Vista, localizada na porção oeste do município de Jataí/Goiás, na região do Rio Ariranha, contribuinte da margem direita da bacia do Rio Claro. O presente estudo trata-se da avaliação de uma cronosequência de interferência antrópica, com diferentes anos de adoção do plantio direto, sendo 7, 11 e 16 anos (PD 7, PD 11 e PD 16, respectivamente).

A classe de solo estudada foi um Plintossolo Háplico (EMBRAPA, 2006) com textura argilosa na camada de 0 a 20 cm (450, 50 e 500 g dm<sup>-3</sup> de argila, silte e areia, respectivamente). Compreende solos formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, que tem como consequência a formação de um horizonte plíntico (EMBRAPA, 2006) e de concreções ferruginosas conhecidas como plintita (Anjos et al., 1995). O horizonte plíntico apresenta mais de 0,80 m de espessura, iniciando aos 0,85 m de profundidade logo abaixo de um horizonte de cores pálidas.

A abertura da área de 7 anos ocorreu em 2003/04, com total de 44 ha. Aplicou-se 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola e 550 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Arad, incorporados com grade niveladora. Recebeu mais uma calagem em 2005 e outra em 2008, cada uma de 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico aplicado em superfície. Na safra 2007/08 a área de 7 anos, foi cultivada com soja no verão, com adubação de 450 kg ha<sup>-1</sup> de 2-20-18. A área foi mantida em pousio na safrinha, recebendo uma calagem de 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico, sendo posteriormente realizado uma passagem de niveladora com grade fechada, revolvendo, no máximo, 5 cm de profundidade. Já na safra 2008/09 foi cultivado milho verão com adubação de 420 kg ha<sup>-1</sup> de 10-24-12 NPK + 100 kg de cloreto de potássio + 300 kg de sulfato de amônio, com pousio na safrinha. Na safra 2009/2010, foi cultivada soja, com adubação de 350 kg ha<sup>-1</sup> de 2-24-12 NPK + 100 kg de cloreto de potássio e milho safrinha adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 12-15-15 + 200 kg de sulfato de amônio.

A abertura da área de 11 anos ocorreu em 1998/1999, com 94 ha, onde grande parte encontrava-se parcialmente em pastagem e pequena parte em vegetação natural. Foram aplicadas 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 560 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo Daoui, com 32% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, incorporados com grade niveladora. Foram realizadas outras duas calagens, em 2001 e 2007, com 3,0 e 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de calcário dolomítico em superfície. Na safra 2007/08 na área de 11 anos, foi cultivado milho verão adubado com 400 kg ha<sup>-1</sup> de 10-24-12 NPK + 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio + 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, em que houve o revolvimento do solo com duas gradagens e mantendo-se a área em pousio na safrinha, sendo feita uma calagem antes do milho. Na safra 2008/2009 foi cultivada soja na safra verão, com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 2-24-12 NPK + 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio e milho safrinha com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 12-15-15 NPK + 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio. Na safra 2009/10, a área recebeu soja, com adubação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de 2-24-12 NPK + 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio e milho safrinha com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 12-15-15 NPK + 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio.

A abertura da área de 16 anos ocorreu em 1993/1994, com 151 ha, onde a mesma encontrava-se em pastagem implantada em consórcio com arroz por volta dos anos 80, sem adição de corretivos. Até a safra 1995/96, foi cultivada em sistema

convencional e recebeu calagens com altas doses de calcário dolomítico. No início do plantio, aplicou-se 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> fosfato reativo (33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso. Foi realizada mais uma calagem em 2005, com 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. Na safra 2007/08 a área foi cultivada com soja na safra e adubada com 400 kg ha<sup>-1</sup> de 2-20-18 NPK, e posteriormente semeado milho safrinha, adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 12-15-15 NPK + 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio. Já na safra 2008/09, foi cultivado soja na safra com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 2-24-12 NPK + 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio e milho safrinha adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> 12-15-15 NPK + 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio. Na safra 2009/10, a área recebeu soja verão, com adubação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de 2-24-12 NPK + 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio e milho safrinha adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> 12-15-15 NPK + 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio.

Em cada área foram demarcados polígonos de 100x100 m através de programa computacional formando um grid. Após isso o programa sorteou um polígono aleatoriamente. Dentro de cada área e dentro de cada polígono foram retirados 5 subamostras, em zig zag. Por se tratar de um estudo ecológico e estar localizado em um mesmo tipo de solo, optou-se por casualizar os pontos de amostragem dentro de cada área e testar antes da análise de variância se havia homogeneidade de variância entre elas. Após isso os dados foram analisados em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco pseudo-repetições. O uso de pseudo-repetições é um procedimento comumente utilizado em estudos ecológicos e é descrito em detalhes por Hurlbert (1984). As áreas estão localizadas uma do lado da outra com mesmas condições topográficas, climáticas, de solo, e condução dos sistemas de manejo, diferindo somente no período de implantação e manejo.

A amostragem do solo foi estratificada em seis profundidades nas camadas de 0 a 0,025; 0,025 a 0,05; 0,05 a 0,075; 0,075 a 0,10; 0,10 a 0,15 e 0,15 a 0,20 m, realizada no mês de setembro de 2010 na época de seca. Posteriormente à coleta, as amostras foram levadas ao laboratório de solos da Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí, onde foram secas em estufa a 40°C e tamisadas em malha de 2 mm de abertura. Posteriormente foi quantificado os teores de carbono orgânico total, cálcio, magnésio, pH, alumínio, acidez potencial, fósforo e potássio (Quadro 1) (EMBRAPA, 2009). As análises de fracionamento de fósforo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Universidade

Federal do Rio Grande do Sul.

**Quadro 1. Atributos químicos de um Plintossolo Háplico de cerrado submetidos a uma cronossequência de cultivos sob plantio direto no município de Jataí/GO.**

Áreas	Prof (cm)	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	MO	SB	CTC	V
7 anos	0,0 - 2,5	6,8	5,0	0,1	4,5	2,1	74,7	6,3	32	6,9	11,9	57,9
	2,5 - 5,0	7,0	4,2	0,1	4,4	2,0	33,2	5,8	31	6,6	10,8	61,1
	5,0 - 7,5	6,6	5,2	0,1	3,7	0,8	27,2	12,4	27	4,7	9,9	47,3
	7,5 - 10,0	6,2	6,2	0,1	2,3	0,8	21,1	4,0	21	3,3	9,5	34,4
	10,0 - 15,0	5,7	8,1	0,2	1,2	0,7	21,1	2,5	20	2,2	10,3	21,0
	15,0 - 20,0	5,2	8,7	0,5	0,6	1,2	24,1	1,2	21	2,4	11,1	21,3
11 anos	0,0 - 2,5	6,4	2,1	0,2	4,2	1,6	97,6	4,5	37	6,3	8,4	74,9
	2,5 - 5,0	6,3	2,0	0,1	3,4	1,8	50,4	3,0	30	5,4	7,4	73,1
	5,0 - 7,5	6,2	2,2	0,1	2,7	1,0	27,9	5,0	29	3,9	6,1	63,8
	7,5 - 10,0	6,0	2,7	0,1	2,3	1,1	26,4	6,8	21	3,6	6,3	56,9
	10,0 - 15,0	5,7	2,2	0,2	1,8	0,9	22,4	3,8	24	3,0	5,2	57,4
	15,0 - 20,0	5,7	2,0	0,3	0,8	0,7	23,8	0,7	25	1,9	3,9	48,2
16 anos	0,0 - 2,5	6,3	1,7	0,1	4,3	2,3	102,2	4,2	42	7,0	8,7	80,4
	2,5 - 5,0	6,3	1,9	0,1	3,7	1,9	70,2	3,9	31	5,9	7,8	75,6
	5,0 - 7,5	6,1	2,4	0,1	3,5	1,8	49,4	14,1	29	5,5	7,9	69,7
	7,5 - 10,0	6,0	5,9	0,1	1,1	0,5	44,7	12	32	1,8	7,7	23,5
	10,0 - 15,0	5,9	5,9	0,1	0,7	0,5	29,8	2,5	24	1,4	7,3	19,0
	15,0 - 20,0	5,5	4,6	0,1	0,5	0,8	25,8	0,9	19	1,5	6,1	24,1

Os teores de ferro avaliados: ferro total (Dick, 1986), ferro oxalato (McKeague, 1966) e ferro ditionito (Holmgren, 1967) são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2. Formas de ferro e suas respectivas relações em um Plintossolo Háplico de cerrado submetidos a uma cronossequência de cultivos sob plantio direto no município de Jataí/GO.**

Áreas	Prof (cm)	Ferro total (Fe <sub>t</sub> )	Ferro ditonito (Fe <sub>d</sub> )	Ferro oxalato (Fe <sub>o</sub> )	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
		----- g/kg -----				
7 anos	0,0 - 10,0	34,78	25,48	0,67	0,73	0,03
	10,0 - 20,0	43,34	28,24	0,74	0,65	0,03
11 anos	0,0 - 10,0	50,40	40,88	0,82	0,81	0,02
	10,0 - 20,0	52,50	48,38	0,79	0,92	0,02
16 anos	0,0 - 10,0	59,47	43,08	0,73	0,72	0,02
	10,0 - 20,0	62,13	45,71	0,74	0,74	0,02

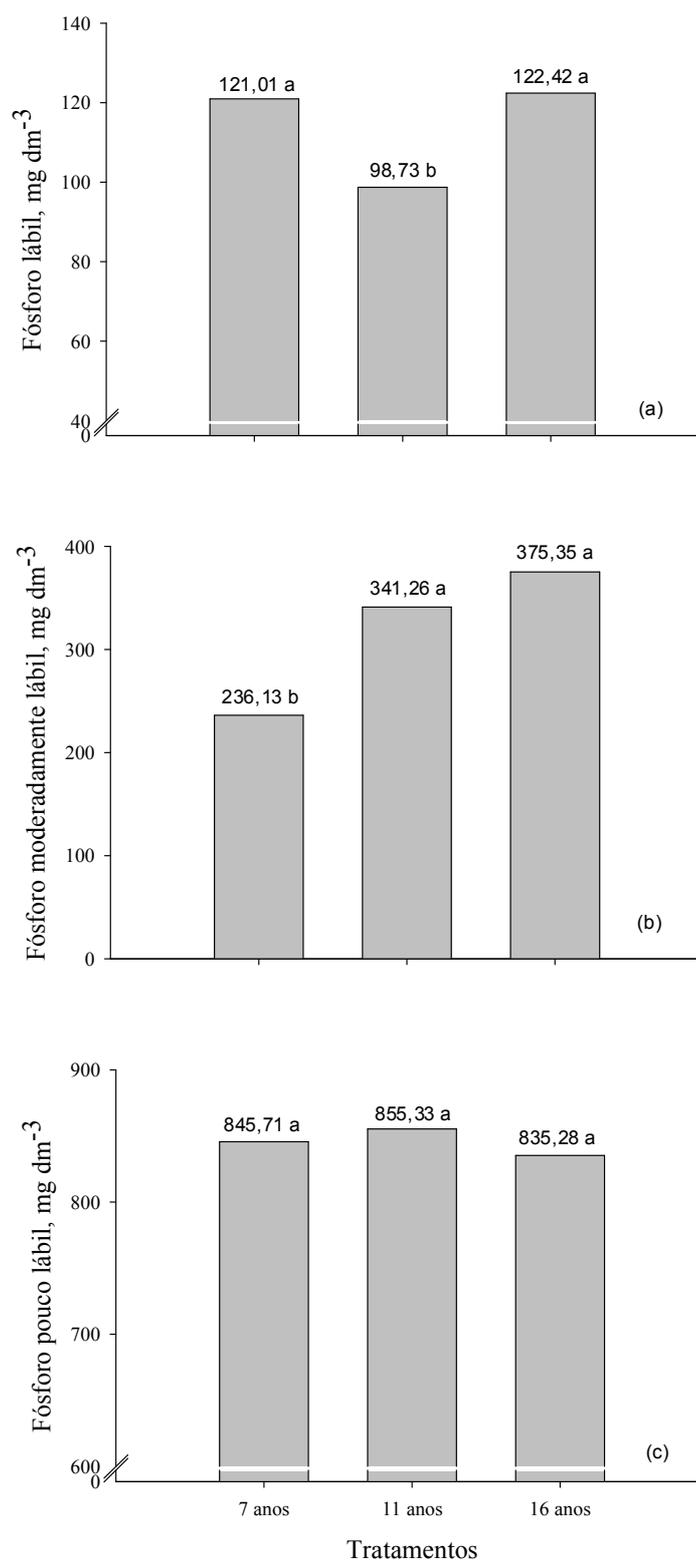
Para o fracionamento do fósforo, utilizaram-se amostras de solo contendo 0,5 g, as quais foram submetidas a diferentes extratores num esquema sequencial proposto por Hedley et al. (1982), modificado por Condron et al. (1985). O fósforo inorgânico dos extratos alcalinos de bicarbonato de sódio e de hidróxido de sódio foi analisado pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977). Nos extratos alcalinos, determinou-se o fósforo total (Pt) por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971), em que o fósforo orgânico é obtido pela diferença entre o fósforo total e o fósforo inorgânico. O fósforo dos extratos ácidos foi determinado segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Com relação à labilidade, foram consideradas como fósforo lábil, as frações de Pi extraído por resina e os teores de fósforo orgânico e fósforo inorgânico extraídos por bicarbonato de sódio; como fósforo moderadamente lábil, os teores de fósforo total extraídos pelas duas concentrações de hidróxido de sódio e, como fósforo pouco lábil, os teores extraídos com ácido clorídrico e o fósforo residual. Os estoques de fósforo lábil foram calculados com base em massas equivalentes de solo segundo método proposto por Ellert & Bettany (1995).

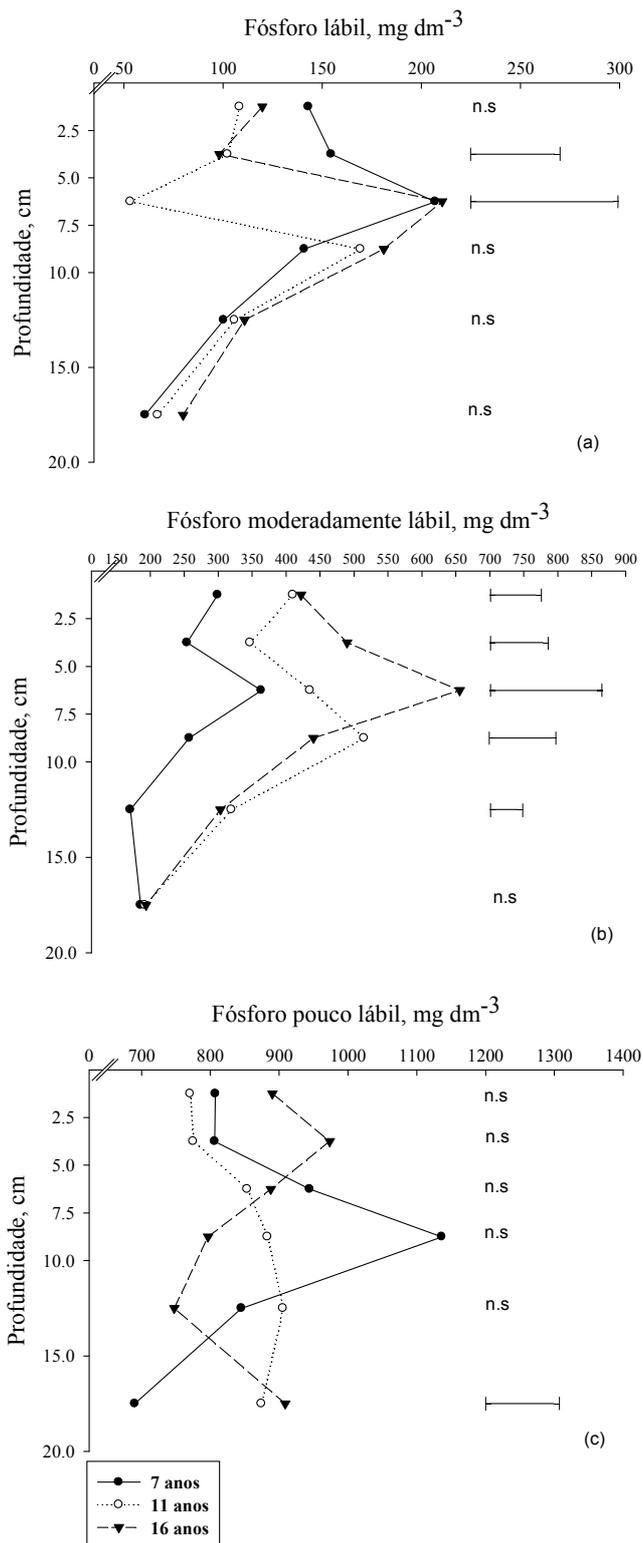
Os dados foram submetidos à análise da variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) com 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P lábil na camada de 0 a 20 cm no PD7 e PD16 foram superiores ao PD11 (Figura 1a). O P lábil, nas três situações, representou 9 %, em média, do P total do solo. Os maiores teores de P lábil foram encontrados até a profundidade de 10 cm, independentemente do tempo de adoção do plantio direto (Figura 2a). Em termos gerais, o tempo de cultivo teve pouca influência sobre os teores de P mais prontamente disponíveis no solo, o que sugere que o sistema mantém um status de tamponamento constante de P para a solução em equilíbrio com a fração lábil do elemento. A redução nos teores de P lábil observada para o PD11 (Figura 2a) ocorreu devido a essa área ter sido submetida a revolvimento no ano de 2007. Isto provavelmente promoveu ruptura dos agregados do solo, aumentando a superfície de contato entre os sítios de adsorção e o íon fosfato, contribuindo para retenção com maior energia (Selles et al., 1997). Rheinheimer & Anghinoni (2003) também verificaram que os teores de P lábil sofreram redução com o revolvimento do solo.



**Figura 1. Teores de fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na camada de 0 a 20 cm em um Plintossolo Háplico em plantio direto sob uma cronossequência de cultivos.**



**Figura 2. Teores de fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) (mg dm<sup>-3</sup>) em diferentes profundidades de um Plintossolo Háptico sob sistema de plantio direto com 7, 11 e 16 anos. Barra na horizontal compara os tratamentos dentro de cada profundidade, Tukey (P<0,05).**

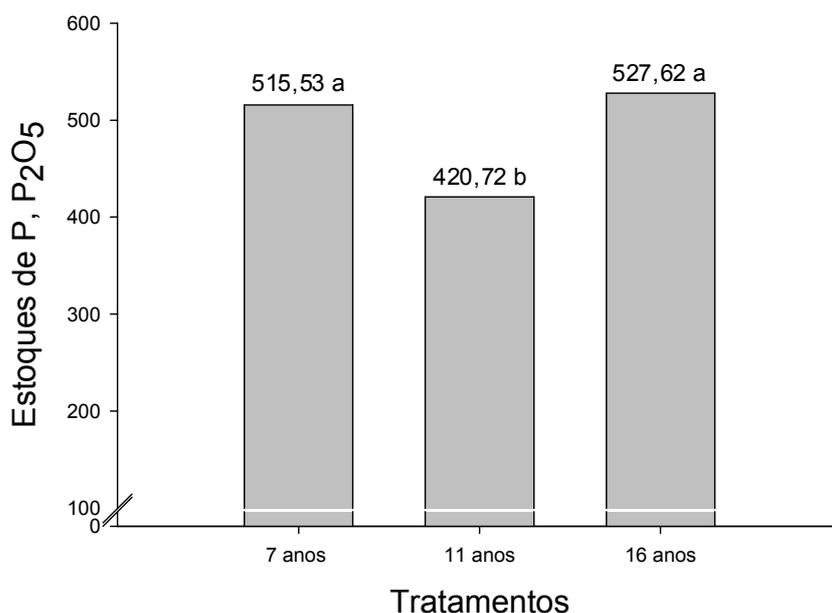
A correlação negativa entre P lábil e  $Fe_{ox}$  (Quadro 3) indica a capacidade dos óxidos de Fe de menor cristalinidade em fixar o P na solução do solo em equilíbrio com a fase lábil, como também observado por Nwoke et al. (2003). O teor de argila foi alta e significativamente correlacionado com o P lábil. Segundo Novais & Smyth (1999), em solos mais argilosos ocorre uma maior quantidade de sítios ácidos de Lewis, favorecendo assim a adsorção de P que, inicialmente, aumenta nos teores de P lábil. No entanto, com o tempo de contato, o P passa para formas de menor labilidade.

**Quadro 3. Coeficiente de correlação de Pearson entre frações do fósforo e atributos de um Plintossolo Háplico de cerrado submetidos a uma cronosequência de cultivos sob plantio direto no município de Jataí/GO**

Frações de fósforo	$Fe_{ox}$	$Fe_d$	$Fe_t$	Argila	Silte	pH	MOS	V
Lábil	-0,93*	-0,46	-0,02	0,89*	-0,45	0,45	0,00	-0,89*
Mod. lábil	0,55	0,97*	0,98*	0,23	0,97*	-0,97*	0,97*	0,65*
Pouco lábil	0,66*	-0,01	-0,45	-0,99*	-0,02	0,02	-0,47	0,57

$Fe_{ox}$ : Ferro oxalato;  $Fe_d$ : Ferro ditionito;  $Fe_t$ : Ferro total; MOS: matéria orgânica do solo; V: saturação por bases.

Não foi observado aumento significativo nos teores de P lábil mesmo após 16 anos de cultivo em sistema palntio direto, indicando que o sistema mantém uma quantidade constante de P prontamente disponível às plantas que independe das repetidas adubações e do P acumulado com os anos de cultivo. Quando se observa os teores de P lábil estocados em cada área (Figura 3), não são constatadas diferenças entre 7 e 16 anos de cultivo. Isto pode indicar que, considerando que há um acúmulo de P total com os anos pela sequencia de adubações, as doses de P aplicadas para as culturas podem estar superestimadas.



**Figura 3. Estoques de fósforo lábil calculados em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na camada de 0 a 20 cm de um Plintossolo Háplico sob sistema de plantio direto com 7, 11 e 16 anos. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.**

É importante observar que os estoques de P lábil (prontamente disponível às plantas) são elevados nas três áreas estudadas, atingindo valores em torno de 500 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Esses valores são superiores às exigências de culturas como milho e soja, normalmente cultivadas nessas áreas, que se situam em torno de 120 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente (Sousa & Lobato, 2004). Neste contexto, o extrator oficial do estado de Goiás (Mehlich 1), pode estar subestimando os teores de P disponível às plantas. Na média entre as profundidades avaliadas, os teores de P extraídos pelo Mehlich 1 foram baixos, variando de 4 a 6,3 mg dm<sup>-3</sup> nos tratamentos avaliados (Quadro 4). Com a utilização da resina como extrator, esses valores foram 53, 61 e 53 mg dm<sup>-3</sup>, representando 44, 50 e 54 % dos teores de P lábil para as áreas com 7, 11 e 16 de plantio direto, respectivamente (Quadro 4). Essa menor eficiência do Mehlich 1 na extração do P disponível deve-se a exaustão da capacidade de extração com aumento dos teores de argila e do grau de intemperismo do solo (Novais & Smyty, 1999), condições prevaletentes nas áreas estudadas. Gatiboni et al (2002), encontraram, em uma única extração com Mehlich

1 e resina, valores de apenas 29 e 37 % de P potencialmente disponível, respectivamente, na camada de 0 a 20 cm. Motta et al. (2002) encontrou valores mais elevados com o extrator resina do que no Mehlich em Latossolos Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distroférico.

**Quadro 4. Teores médios de fósforo extraído com Resina, Bicarbonato e Mehlich.**

Área	Resina	Bicarbonato	Mehlich 1
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
7 anos	53	68	5.4
11 anos	61	61	4.0
16 anos	53	46	6.3

Os teores de P moderadamente lábil, na camada de 0 a 20 cm (Figura 1b), no PD11 e PD16 (341,3 e 375,4 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) são superiores ao PD7 (236,1 mg dm<sup>-3</sup>). O fósforo moderadamente lábil representou 20, 26 e 28 % do fósforo total do solo, respectivamente, para os tratamentos PD7, PD11 e PD16 e se correlacionou positivamente com o Fe<sub>d</sub>, Fe<sub>t</sub>, silte, matéria orgânica do solo e saturação por bases e negativamente com o pH (Quadro 3). Assim como para o fósforo lábil, o fósforo moderadamente lábil (Figura 2b) encontra-se em maiores concentrações nas camadas mais superficiais do solo (camada de 0 a 10 cm). Para essa fração houve grande efeito dos tempos de adoção de plantio direto, em que somente na camada de 15 a 20 cm não houve efeito do tempo.

Verifica-se que ocorre pouca alteração nos teores de P lábil e grande alteração nos teores de P moderadamente lábil (Figura 1 a, b), pois segundo Rheinheimer et al. (2003) o P se acumula inicialmente em formas menos lábeis (sítios mais ávidos por P) com conseqüente saturação de P e, sequencialmente, acumula-se em frações moderadamente lábeis. A fração moderadamente lábil pode atuar como fonte ou dreno de P disponível em função da quantidade de P que é adicionada como fertilizante. Em condições de elevada aplicação de fertilizante fosfatado, maior que a exportação pelas culturas, o excesso de P é acumulado em formas moderadamente lábeis, sendo um dreno do P adicionado. Da mesma forma,

em uma situação de baixa adição de fertilizantes o P moderadamente lábil também pode atuar como fonte, suprimindo as necessidades da cultura (Conte et al., 2003; Gatiboni et al., 2007).

As quantidades de Fe extraídas com oxalato foram baixas, indicando que as formas de óxidos de Fe predominantes são de alta cristalinidade (Quadro 2). Isto foi também constatado pela relação  $F_o/F_d$ . Hernández & Meurer (1998) observaram relação direta entre as quantidades de P adsorvidas e os teores de óxidos de Fe do solo. Os dados do presente trabalho sugerem que os óxidos de Fe cristalino podem estar retendo P em uma forma moderadamente disponível, visto que na área com 16 anos de cultivo, que apresentou o maior reservatório de P moderadamente lábil (Figura 1b), houve elevada correlação desta frações de P com os teores de Fe extraídos com ditionito (Quadro 3). Os resultados do presente estudo (Figura 1a e 1b) indicam que o compartimento P lábil é saturado com poucos anos de cultivo e baixa aplicação de P. Ainda, que o P adicionado ao longo dos anos vem se acumulando em frações de moderada labilidade, sendo os teores de P pouco lábil ou mais fortemente retidos pelo solo ainda pouco afetados até o período de 16 anos de plantio direto. Solos com alto acúmulo de P em frações lábeis e moderadamente lábeis, como no presente estudo, podem ter minimizadas as suas adições de adubo fosfatado, até que o solo desencadeie o processo contínuo de depleção natural com o decorrer do tempo. Isto resultaria em economia de fertilizantes e maior eficiência da adubação fosfatada.

Os teores de P pouco lábil, na camada de 0 a 20 cm (Figura 1c), não foram influenciados pelo tempo de adoção do plantio direto. O P pouco lábil representou 70, 66 e 63% do fósforo total para o PD7, PD11 e PD16, respectivamente. Este acúmulo na forma pouco lábil ou fortemente adsorvida foi positivamente correlacionada com os teores de óxidos de Fe amorfo, sugerindo que esta forma de óxido, apesar de em menor concentração no solo, é a principal responsável pela retenção de P nas áreas. Já com relação ao efeito em profundidade verifica-se que na camada de 15 a 20 cm houve um aumento nos teores de P pouco lábil após 11 e 16 anos de plantio direto (Figura 2c). Isso sugere que, com o passar do tempo há incrementos nos teores de P em profundidade, inicialmente em sítios mais ávidos por P, conforme já comentado.

Segundo Walker & Syers (1976), e corroborado pelos dados do presente trabalho, em solos muito intemperizados, a maior parte do P total se encontra na fração pouco lábil. É possível que, nas áreas e tempos de cultivo estudados, essa fração não tenha sido significativamente alterada pela adição de doses anuais de fertilizantes ou que possa ter atingido sua máxima adsorção de P nessa fração mais recalcitrante. Como há uma constante manutenção dos teores de P na fração mais lábil com os anos de cultivo, é mais provável que a adsorção específica de P nesses solos tenha atingido uma saturação. Isto sugeriria, mais uma vez, que as adubações de P atualmente praticadas nas áreas estão quantitativamente superestimadas.

## CONCLUSÕES

1. Nas áreas estudadas sob plantio direto, o P acumula-se, preferencialmente, em formas de moderada labilidade com o tempo de condução do sistema e estas formas tamponam o P lábil, imediatamente disponível às plantas, que não se altera com o tempo de cultivo.

2. Os estoques de P lábil no solo estudado são suficientes para manter teores de P disponíveis adequados para as culturas conforme as recomendações para o Cerrado, sem necessidade de suplementação imediata de P via adubações.

## REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928.
- ANJOS, L.H.C.; FRANZMEIER, D.P. & SCHULZE, D.G. Formation of soil with plinthite on a toposequence in Maranhão State, Brazil. Geoderma, 64:257-279, 1995.
- BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo do solo e sistemas de culturas. 1992. 172 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- 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 Sci.*, 172:141-148, 2007.
- CALEGARI, A.; HARGOVE, W.L.; RHEINHEIMER, D.S.; RALICH, R.; TESSIER, D.; DETOURDONNET, S. & DEFATIMA GUIMARAES, M. Impact of long-term no-tillage and crop system managements on soil organic carbon in an oxisol: a model for sustainability. *Agron. J.* 100:1013–1019, 2008.
- CONDRON, L.M.; GOH, K.M. & NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of Soil Science, Oxford*, 36:199-207, 1985.
- DICK, D. P. Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos. Porto Alegre: UFRGS, 1986. 196f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.
- DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 6:82- 85, 1977.
- ELLERT, B.H. & BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian J. Soil Sci.*, 75:529-538, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 306p, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de Análise de Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes. Brasília 2<sup>a</sup>. ed. rev. ampl. - Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- FEBRAPDP. Expansão do sistema plantio direto em território nacional. Disponível em: < <http://www.febrapdp.com.br> >. Acesso em 10 mai. 2012.

- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. & FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 31:691-699, 2007.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKY, J.; RHEINHEIMER, D.S. & SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em Latossolo Vermelho distroférico. R Bras Ci Solo, Viçosa, 2002.
- 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 American Journal, Madison, 46:970-976, 1982.
- HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 22:223-230, 1998.
- HOLMGREN, G.G.S. A rapid citrat-dithionite extractable iron procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31:210-211, 1967.
- HURLBERT, S.H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs, 54:187-211, 1984.
- McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. Canadian J. Soil Sci., Ottawa, 46:13-22, 1966.
- MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília, 37:868-878. 2002.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, Oxford, v 27, p. 31-36, 1962.
- NICOLODI, M. Evolução da noção da fertilidade e sua percepção como uma propriedade emergente do sistema solo. 2007. 140 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais.

- Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NWOKE, O.C.; VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N.; OSONUBI, O. & MERCKX. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. *Agric. Ecosys. Environ*, 100: 285-294, 2003.
- RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:2339–2354, 2003.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J. & GATIBONI, L.G. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. *Ci. Rural*, 33:1053-1059, 2003.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G. (Ed.). *Inter-relação fertilidade biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 267-319.
- SELLES, F.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P. & FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Soil Tillage Res.*, 44:23-34, 1997.
- SEPIN (Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informações Socioeconômicas). < [http://www.seplan.go.gov.br/sepin/viewnot.asp?id\\_cad=1080&id\\_not=1](http://www.seplan.go.gov.br/sepin/viewnot.asp?id_cad=1080&id_not=1)>. Acesso em 03/05/2012. *Aspectos físicos de Goiás*. 2005.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., eds. *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba, Potafos, p.157-196, 2004.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. *Methods of chemical analysis for water and wastes*. Cincinnati: USEPA, 1971.
- WALKER, T.W. & SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma, Netherlands*, 15:01-19, 1976.

## 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação sucessiva no sistema de plantio direto e a manutenção do sistema por longo período promoveu alterações na dinâmica das formas lábeis de fósforo, bem como proporcionou a redistribuição de formas orgânicas. Entretanto a partir de 7 anos, estagnou-se os acúmulos de fósforo lábil, causando o “envelhecimento” das formas de fósforo, se concentrando em frações moderadamente lábeis, pois é a única que tem seu teor aumentado com a adubação.

No sistema de plantio direto, recuperam-se maiores teores de fósforo inorgânico, mesmo após sete anos de condução, sendo que não houve tempo suficiente, mesmo que depois de 16 anos para ocorrer aumentos nos teores de fósforo total.

O maior tempo de adoção do sistema de plantio direto promove maior transformação do fósforo adicionado via fertilizantes minerais em formas orgânicas, porém com predomínio de formas inorgânicas de moderada labilidade. Contudo em ambientes nativos ocorre acúmulo preferencialmente em formas orgânicas, especialmente em formas moderadamente lábeis.

Os métodos Mehlich 1 e Resina tiveram capacidade distinta na predição da disponibilidade de fósforo no solo, embora tenham modos de ação diferentes, por isso, podem apresentar teores diferentes. Contudo o método Mehlich 1 apresentou uma eficiência menor para avaliar a disponibilidade do fósforo no Plintossolo Háplico, podendo subestimar os reais teores de fósforo na solução. Desse modo deve-se atribuir o método da resina para detectar os teores de fósforo disponível.

De maneira geral, o foco dos estudos com fósforo em plantio direto devem versar sobre a redução na adubação fosfatada com o tempo de adoção do plantio direto, já que os estoques de fósforo lábil são suficientes para manter altas produtividades das culturas, sem necessidade de se recorrer a adubações complementares.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A - FRACIONAMENTO DO FÓSFORO DO SOLO

(Hedley et al., 1982 com modificações de Condron et al., 1985)

### SOLUÇÕES:

- Bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ )  $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ : Pesar 42,00 g de  $\text{NaHCO}_3$  para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  dest. Ajustar o pH a 8,5 com o uso de  $\text{NaOH}$  ou  $\text{HCl}$ . Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume. Preparar a solução imediatamente antes do uso.
- Cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ )  $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ : Pesar 29,25 g de  $\text{NaCl}$  para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  dest. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.
- Hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ )  $0,1 \text{ mol l}^{-1}$ : Pesar 4,00 g de  $\text{NaOH}$  para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  dest. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.
- Ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ )  $1 \text{ mol l}^{-1}$ : Adicionar 84 ml de  $\text{HCl}$  conc. em Becker de 1000 ml contendo 700 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  dest. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.
- Hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ )  $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ : Pesar 20,00 g de  $\text{NaOH}$  para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  dest. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

### PROCEDIMENTOS:

1. Pesar 0,5 gramas de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca;
2. Adicionar 10 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada;

**3. Adicionar 1 lamina de RTA preparada segundo apêndice B;**

4. Agitar por 16 horas no "end-over-end" (rotação de 33 rpm);
5. Retirar a RTA do tubo com auxílio de uma pinça;
6. Lavar o excesso de solo da RTA com jato d'água (pisceta);
7. Colocar a RTA em recipiente com tampa contendo 15 ml de HCl 0,5 mol l<sup>-1</sup>;
8. Deixar em repouso por 90 min (com a tampa aberta);
9. Agitar por 30 min em agitador horizontal;
10. Retirar a RTA com auxílio de pinça e recuperá-la conforme Apêndice B;
11. Centrifugar o solo + H<sub>2</sub>O à 6000 rpm por 15 min e descartar o sobrenadante;
12. Determinar Pi no extrato de HCl 0,5 mol l<sup>-1</sup> (Apêndice C);

**13. Adicionar 10 ml de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol l<sup>-1</sup>;**

14. Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
15. Agitar por 16 horas no "end-over-end";
16. Centrifugar à 6000 rpm por 15 min;
17. Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
18. Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l<sup>-1</sup> com cuidado para não mexer o solo;
19. Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato;

**20. Adicionar 10 ml de NaOH 0,1 mol l<sup>-1</sup>;**

21. Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
22. Agitar por 16 horas no "end-over-end";
23. Centrifugar à 6000 rpm por 15 min;
24. Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
25. Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l<sup>-1</sup> com cuidado para não mexer o solo;
26. Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;

**27. Adicionar 10 ml de HCl 1,0 mol l<sup>-1</sup>;**

28. Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
29. Agitar por 16 horas no "end-over-end";
30. Centrifugar à 6000 rpm por 15 min;
31. Reservar o sobrenadante para análise de Pi (Apêndice C);

32. Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l<sup>-1</sup> com cuidado para não mexer o solo;
33. Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;
- 34. Adicionar 10 ml de NaOH 0,5 mol l<sup>-1</sup>;**
35. Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
36. Agitar por 16 horas no "end-over-end";
37. Centrifugar à 6000 rpm por 15 min;
38. Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
39. Adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l<sup>-1</sup> com cuidado para não mexer o solo;
40. Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;
- 41. Secar o solo em estufa à 50o C e digerir o solo conforme apêndice F.**

## APÊNDICE B: SATURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RESINAS TROCADORAS DE ÂNIONS

(adaptado de Miola, 1995)

### 1) PREPARO DA RTA:

#### a) Lavagem com ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol l<sup>-1</sup>;

- Contato com 500 ml de HCl mol l<sup>-1</sup> por 10 min , jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de HCl mol l<sup>-1</sup> por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de HCl mol l<sup>-1</sup> por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

#### b) Lavagem com H<sub>2</sub>O destilada;

- Lavar com bastante H<sub>2</sub>O dest. e descartar o líquido;
- Contato com 500 ml de H<sub>2</sub>O dest. por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de H<sub>2</sub>O dest. por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de H<sub>2</sub>O dest. por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

#### c) Saturação com bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) 0,5 mol l<sup>-1</sup>;

- Contato com 500 ml de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol l<sup>-1</sup> por 10 min , jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol l<sup>-1</sup> por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol l<sup>-1</sup> por 120 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

#### d) Lavagem do excesso de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol l<sup>-1</sup> com água destilada;

- Lavar com bastante H<sub>2</sub>O dest. e descartar o líquido;
- Contato com 500 ml de H<sub>2</sub>O dest. por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- Contato com 500 ml de H<sub>2</sub>O dest. por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

- Contato com 500 ml de H<sub>2</sub>O dest. por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

## **2) EXTRAÇÃO DO FÓSFORO DO SOLO:**

- Passos "a" a "k" do fracionamento de fósforo do solo (Apêndice A).

## **3) RECUPERAÇÃO DA RTA:**

- Submeter a RTA aos passos 1a e 1b do preparo da RTA;
- Estocar a RTA em água destilada

### **Obs:**

a) quando a RTA estocada passou pelo processo de recuperação no dia anterior, no novo preparo da RTA, esses passos não precisam ser repetidos.

b) o NaHCO<sub>3</sub> deve ser preparado na hora do uso e o pH deve ser regulado à 8,5 com uso de NaOH ou HCl.

## APENDICE C: DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO EM EXTRATOS ÁCIDOS DO SOLO

(Murphy & Riley, 1977)

### SOLUÇÕES:

- Solução A: dissolver 15,35 g de  $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  com 200 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em Becker de 500 ml. Dissolver 0,3511 g de  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  com 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em Becker de 200 ml. Colocar 300 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em becker de 1000 ml e adicionar lentamente 178 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar as soluções de molibdato de amônio e antimoniato de potássio e ajustar o volume com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.
- Solução B: dissolver 1,356 g  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  (ácido ascórbico) com 100 ml de solução A em balão volumétrico. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.
- Hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ )  $10 \text{ mol l}^{-1}$ : dissolver 400 g de  $\text{NaOH}$  em 600 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em Becker de 1000 ml. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Armazenar em frasco plástico.
- p-nitrofenol 0,25%: pesar 0,25 g de p-nitrofenol e dissolver em 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em balão volumétrico. Armazenar em geladeira em frasco escuro.

### PROCEDIMENTOS:

1. Pipetar uma alíquota do extrato para copo de cafezinho;
2. Adicionar  $\text{H}_2\text{O}$  destilada para atingir volume de 3 ml;
3. Adicionar uma gota de p-nitrofenol 0,25%;
4. Neutralizar a solução com  $\text{NaOH}$   $10 \text{ mol l}^{-1}$ ;

5. Adicionar 0,5 ml de solução B;
6. Ler a absorvância em 882 *nm* após 30 minutos.

**APENDICE D: DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO EM EXTRATOS  
ALCALINOS DO SOLO**  
(Dick & Tabatabai, 1977)

**SOLUÇÕES:**

- Solução A: dissolver 8,80 g de  $C_6H_8O_6$  (ácido ascórbico) e 41,00 g de ácido tricloroacético com 400 ml de  $H_2O$  destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com  $H_2O$  destilada. Esta solução deve ser preparada no momento de uso.
- Solução B: dissolver 6,20 g de  $(NH_4)Mo_7O_{24} \cdot 4 H_2O$  com 400 ml de  $H_2O$  destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com  $H_2O$  destilada.
- Solução C: dissolver 29,40 g de citrato de sódio e 26,00 g de arsenito de sódio com 800 ml de  $H_2O$  destilada em Becker de 1000 ml. Adicionar 50 ml de ácido acético glacial (99%). Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com  $H_2O$  destilada.

**PROCEDIMENTOS:**

1. Adicionar 5 ml de solução A em copo de cafezinho;
2. Adicionar imediatamente uma alíquota de extrato alcalino;
3. Adicionar imediatamente 1 ml de solução B;
4. Adicionar imediatamente 2,5 ml de solução C;
5. Completar o volume até 12,5 ml;
6. Ler a absorbância no fotolorímetro em 700 nm após 15 minutos.

**APENDICE E: DIGESTÃO DOS EXTRATOS ALCALINOS DO SOLO (extraídos com NaOH e NaHCO<sub>3</sub>) PARA ANÁLISE DO FÓSFORO TOTAL (USEPA, 1971)**

**SOLUÇÕES:**

- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1:1: Adicionar, vagarosamente, 500 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. em 500 ml de H<sub>2</sub>O destilada. Esperar esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H<sub>2</sub>O destilada.
- Persulfato de amônio 7,5% (m/v): Dissolver 75 g de persulfato de amônia (Merck) em 800 ml de H<sub>2</sub>O destilada. Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H<sub>2</sub>O destilada.

**PROCEDIMENTOS:**

1. Pipetar uma alíquota do extrato alcalino para solo em tubo de digestão;
2. Adicionar 10 ml de persulfato de amônio 7,5%;
3. Adicionar 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1;
4. Cobrir o tubo com papel alumínio;
5. Colocar os tubos em recipiente maior e cobri-lo com papel alumínio;
6. Autoclavar à 121 °C e 103 kPa por 2 horas;
7. Deixar esfriar e completar o volume à 20 ml.
8. Determinar fósforo conforme apêndice C.

## APÊNDICE F: DIGESTÃO DO RESÍDUO DO SOLO PARA ANÁLISE DO FÓSFORO TOTAL

(Brookes & Powlson, 1982)

### SOLUÇÕES:

- Solução de Cloreto de magnésio ( $MgCl_2$ ) saturado: adicionar  $MgCl_2$  em  $H_2O$  destilada até a saturação da solução.
- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado.
- Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) concentrado.

### PROCEDIMENTOS:

1. Pesar 0,10 g de solo em tubo de digestão;
2. Adicionar 1 ml de  $MgCl_2$  saturado;
3. Adicionar 1 ml de  $H_2SO_4$  concentrado;
4. Colocar funil de refluxo no tubo de digestão;
5. Aquecer por 1 hora no bloco digestor à 200 °C;
6. Deixar esfriar e adicionar 2 ml de  $H_2O_2$  concentrado;
7. Aquecer por 1 hora no bloco digestor à 100 °C;
8. Deixar esfriar e completar o volume à 50 ml.
9. Determinar fósforo conforme apêndice C.

## APÊNDICE G – FERRO TOTAL ( $Fe_t$ )

(Fey & Dixon, 1983; Dick, 1986)

### SOLUÇÕES:

- Ácido clorídrico  $HCl$   $6 \text{ mol L}^{-1}$ : Na capela, em balão de 1 L, colocar aproximadamente 300 mL de água destilada e adicionar lentamente 500 ml de  $HCl$  (PA), completando o volume com  $H_2O$  destilada.

### PROCEDIMENTOS:

1. Pesar 0,040 g de solo e colocar em becker de 50 ml;
2. Adicionar 40 ml de  $HCl$   $6 \text{ mol L}^{-1}$ ;
3. Proceder à digestão em placa de aquecimento (com bandeja de areia) no interior da capela durante 60 minutos, evitando ebulição;
4. Após a digestão, resfriar e transferir o sobrenadante para balão volumétrico de 50 mL, completando o volume com  $HCl$   $6 \text{ mol L}^{-1}$ ;
5. Retirar 1 ml de cada amostra (dos balões de 50 ml) e transferir para copinhos de cafezinho com mais 25 ml de  $H_2O$  destilada;
6. Proceder à leitura do sobrenadante, por espectrometria de absorção atômica (EAA).

**Obs:** (i)se necessário realizar diluições adicionais com  $HCl$   $6 \text{ mol L}^{-1}$ . Até o passo número 6 o fator de diluição é 32500.

## APÊNDICE H – FERRO DITIONITO ( $\text{Fe}_d$ ), com DCB

(Mehra & Jackson, 1960; Holmgren, 1967)

### SOLUÇÕES:

- Citrato de sódio ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$ )  $0,3 \text{ mol l}^{-1}$ : 88,23 g/L de citrato de sódio em 1000 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.
- Bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ )  $1,0 \text{ mol l}^{-1}$ : pesar 84,01 g/L de bicarbonato de sódio em 1000 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.
- Solução CB (8:1): preparar 2 L de solução citrato de sódio  $0,3 \text{ mol l}^{-1}$  (176,46 g/ 2 L de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada) e 0,25 L de solução bicarbonato de sódio  $1,0 \text{ mol l}^{-1}$  (21 g/ 0,25 L de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada). Proceder à mistura as duas soluções.

### PROCEDIMENTO:

1. Colocar 0,2 g de amostra em tubo de centrifuga de 50 ml;
2. Adicionar 40 ml de solução Citrato-Bicarbonato (CB);
3. Colocar em banho maria à  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , agitando ocasionalmente;
4. Adicionar 1 g de Ditionito de Sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) em três etapas (0,33 g; 0,33 g; 0,33 g) agitando com uma espátula e/ou bastão durante 1 min, e deixando em repouso 15 min entre cada adição;
5. Retirar do banho maria, esfriar e centrifugar à 3000 rpm por 15 min;
6. Transferir o sobrenadante para balão de 50 ml e completar o volume com solução (CB);
7. Determinar Fe, Al, Si, Cu, Zn, Mn, e outros no sobrenadante, por espectrometria de absorção atômica (EAA).

**Obs:** (i)se necessário realizar diluições adicionais com solução CB ou água destilada. Até o passo numero 7 o fator de diluição é 250.

## APÊNDICE I – FERRO OXALATO (Fe<sub>o</sub>)

(Schwertmann, 1964; McKeague, 1966)

### SOLUÇÕES:

- Oxalato de amônio [ $((\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})$ ]  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  à pH 3: pesar 28,4 g de oxalato de amônio e dissolver em balão de 1 L com H<sub>2</sub>O destilada, completando o volume. Ajustar o pH com ácido oxálico (antes de completar 1 L com H<sub>2</sub>O destilada adicionar em torno de 16 g de ácido oxálico C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, isso deixará o pH próximo a 3, sendo então ajustado aos poucos até alcançar esse valor).

### PROCEDIMENTO:

1. Colocar 0,2 g de amostra em tubo de centrifuga de 50 ml;
2. Adicionar 40 ml de oxalato de amônio e agitar no escuro durante 2 horas (cobrir os tubos com papel alumínio);
3. Centrifugar à 2000 rpm por 5 min;
4. Após agitar, transferir o sobrenadante para balão volumétrico de 50 ml, completando o volume com oxalato de amônio;
5. Determinar o Fe no sobrenadante, por espectrometria de absorção atômica (EAA).

**Obs:** (i)se necessário realizar diluições adicionais com H<sub>2</sub>O destilada. Até o passo número 4 o fator de diluição é 250.