



Semina: Ciências Agrárias

ISSN: 1676-546X

semina.agrarias@uel.br

Universidade Estadual de Londrina  
Brasil

Pinheiro Martins Bezerra, Régis; Loss, Arcângelo; Pereira, Marcos Gervasio; Perin,  
Adriano

Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e  
integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano

Semina: Ciências Agrárias, vol. 36, núm. 3, mayo-junio, 2015, pp. 1287-1306

Universidade Estadual de Londrina  
Londrina, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744148010>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano

## Phosphorus fractions and correlation with soil attributes under no-tillage and crop-livestock integration systems in Cerrado of Goiás

Régis Pinheiro Martins Bezerra<sup>1</sup>; Arcângelo Loss<sup>2</sup>;  
Marcos Gervasio Pereira<sup>3\*</sup>; Adriano Perin<sup>4</sup>

### Resumo

Os objetivos deste trabalho foram avaliar as frações de fósforo (P) orgânico e inorgânico do solo, além de determinar os teores de fósforo remanescente (Prem) e correlacionar as frações do P com alguns atributos edáficos em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Os sistemas agrícolas utilizados foram: integração lavoura-pecuária – ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja), sistema plantio direto – SPD (girassol/milheto/soja/milho) e como referência, o Cerrado natural (Cerradão). Em área de Latossolo Vermelho e relevo plano, coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0,00-10,0, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade. Foram determinados os teores de P orgânico – Po (H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> e lábil-L), P inorgânico – Pi (H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> e L), P-total (Pt) e Prem. Por meio de correlações de Pearson estimou-se a dependência entre as frações de P e alguns atributos edáficos (argila, frações da matéria orgânica do solo – MOS, atributos químicos – via adubação e óxidos de ferro). De maneira geral, os maiores teores de PiH<sup>+</sup>, PoH<sup>+</sup>, PtH<sup>+</sup>, PiOH<sup>-</sup>, PtOH<sup>-</sup>, PiL, PoL, PtL e Prem (0,00-0,10 m) foram encontrados no sistema de ILP em comparação ao SPD. Em relação à profundidade, os maiores teores das frações de P foram observados na camada superficial. As áreas cultivadas apresentaram maiores valores das frações de P quando comparada a área de Cerradão. Verificou-se dependência da fração PiH<sup>+</sup> com a argila e a fertilidade (adubação); a fração PoH<sup>+</sup> está relacionada aos óxidos de ferro (Fe<sub>d</sub> e Fe<sub>o</sub>) e as frações da MOS; a fração PiOH<sup>-</sup> mostrou-se dependente dos óxidos de ferro e do carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF) e P, enquanto a fração PoOH<sup>-</sup> relacionou-se com o carbono da fração ácido húmico (C-FAH) e o Mg, Al e K. A fração PiL está relacionada a argila e adubação; enquanto o PoL, aos óxidos de ferro, ao C-FAF e C-FAH e a adubação. O sistema de ILP, devido ao maior aporte vegetal da braquiária, aos dejetos bovinos deixados aleatoriamente na área e as adubações realizadas, acarreta na maior disponibilização das frações de Pi e Po quando comparado ao SPD, sem braquiária.

**Palavras-chave:** Fósforo orgânico, fósforo inorgânico, frações da matéria orgânica

### Abstract

The objectives of this study were to evaluate the fractions of organic phosphorus (P) and inorganic soil, and to determine the remaining phosphorus (Prem) and correlate the fractions of P with some

<sup>1</sup> Discente do Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, Deptº de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza, CE. E-mail: regispm@ yahoo.com.br

<sup>2</sup> Prof. Adjunto II, Centro de Ciências Agrárias, Deptº de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC. E-mail: arcangelo.loss@ufsc.br

<sup>3</sup> Prof. Associado IV, Deptº de Solos, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: gervasio@ufrj.br

<sup>4</sup> Prof. D4, Instituto Federal de Educação, IFE, Ciência e Tecnologia, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO. E-mail: perinrj@yahoo.com.br

\* Autor para correspondência

soil attributes in areas with different land use systems in the Cerrado region, Goiás State. The farming systems were used: crop-livestock integration – CLI (Brachiaria+corn/beans/cotton/soybean), no-tillage system – NTS (sunflower/millet/soybean/corn) and as a reference, the natural Cerrado (Cerradão). In a completely randomized design in Oxisol and relief, were collected soil samples in the layers 0.00-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30 and 0.30-0.40 m depth. Were determined organic P – Po ( $H^+$ ,  $OH^-$  and labile-L), inorganic P – Pi ( $H^+$ ,  $OH^-$ , and L), P-total (Pt) and Prem. Through Pearson correlations estimated the dependency between P fractions and some soil attributes (clay, fractions of soil organic matter – SOM, soil chemical attributes – via fertilization, and iron oxides). In general, the highest levels of  $PiH^+$ ,  $PoH^+$ ,  $PtH^+$ ,  $PiOH^-$ ,  $PtOH^-$ ,  $PiL$ ,  $PoL$ ,  $PtL$  and Prem (0.00-0.10 m) were found in the CLI system compared to the NTS. Regarding depth, the highest levels of P fractions were observed in the surface layer. The cultivated areas had higher values of P fractions when compared to Cerrado area. It was observed dependence of the fraction  $PiH^+$  with clay and fertility (fertilizer); fraction  $PoH^+$  is related to iron oxides ( $Fe_a$  and  $Fe_o$ ) and SOM fractions, the fraction  $PiOH^-$  was dependent on iron oxides and carbon of fulvic acid fraction (C-FAF) and P, while the fraction  $PoOH^-$  related with the carbon of humic acid fraction (C-HAF) and Mg, Al and K. The fraction is related  $PiL$  clay and fertilizer, while the  $PoL$ , to iron oxides, the C-FAF and C-HAF and fertilizing. CLI system, due to the increased plant intake brachiaria, bovine manure randomly left in the area and fertilization performed, carries the greater availability of Pi and Po fractions than compared to SPD, without brachiaria.

**Key words:** Organic phosphorus, inorganic phosphorus, organic matter fractions

## Introdução

O domínio morfoclimático do Cerrado é composto por uma das savanas mais diversas do mundo, porém há intensa perda de habitats associado às mudanças nos regimes de fogo e à conversão de áreas nativas para a agricultura (BUSTAMANTE et al., 2012). Este domínio ocupa cerca de 24% do território brasileiro, cobrindo aproximadamente 200 milhões de hectares e possui a segunda maior biodiversidade do planeta (BUSTAMANTE et al., 2006).

Inúmeros estudos foram desenvolvidos neste domínio, sendo verificados, em maior proporção, pesquisas sobre a dinâmica dos elementos carbono e nitrogênio (BUSTAMANTE et al., 2006; SIQUEIRA NETO; PICCOLO; BERNOUX, 2008; CARVALHO et al., 2010; COSTA JUNIOR et al., 2011; LOSS et al., 2012a) comparativamente ao fósforo (P) e ao seu fracionamento. Sobre a dinâmica do P, em solos do Cerrado são encontrados trabalhos com ênfase somente na vegetação natural de Cerrado (RESENDE et al., 2011; BUSTAMANTE et al., 2012) e trabalhos comparando diferentes sistemas de uso das terras com a vegetação original (Cerrado) (FONTANA et al., 2008; EBERHARDT et al., 2008; TIRLONI et al., 2009; PEREIRA et al., 2010; LOSS et al., 2012a).

Em relação ao P, este é um elemento muito importante para o desenvolvimento dos vegetais (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; RESENDE et al., 2011). Entretanto, os solos tropicais, sendo grande parte destes encontrados no domínio morfoclimático do Cerrado, apresentam, normalmente, baixa concentração de P disponível e alto poder de “fixação” ou “retenção” do P via adubação (NOVAIS; SMYTH, 1999; EBERHARDT et al., 2008).

No solo, são encontradas as formas de P inorgânicas, orgânicas lábil, moderadamente lábil e não lábil ou recalcitrante, sendo observado que essas formas podem tornar-se disponíveis com o passar do tempo (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009; PAVINATO; DAO; ROSOLEM, 2010). Entretanto, essa dinâmica é muito complexa e dependente de vários fatores intrínsecos ao solo; tais como a textura (EBERHARDT et al., 2008; TOKURA et al., 2011), sistemas de manejo (FONTANA et al., 2008; PEREIRA et al., 2010) e adubações minerais e orgânicas (GATIBONI et al., 2008; TIRLONI et al., 2009; PAVINATO; DAO; ROSOLEM, 2010; GUARDINI et al., 2012), além dos fatores ambientais – bióticos e abióticos (FERNÁNDEZ et al., 2008; RESENDE et al., 2011).

Os solos tropicais, principalmente os Latossolos, são altamente intemperizados, apresentando predomínio de óxidos de ferro e alumínio na fração argila e, conseqüentemente, alta adsorção de fosfatos devido à presença de cargas positivas na superfície desses óxidos. Assim, o solo compete com a planta pelo P adicionado, caracterizando-se, neste caso, como um dreno (NOVAIS; SMYTH; BARROS, 1998; CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003). Com o desenvolvimento do solo as formas mais lábeis de P diminuem e as formas não lábeis aumentam, especialmente aquelas inorgânicas (Pi) inativas. A participação relativa do P orgânico (Po) aumenta e os processos biológicos tendem a governar a disponibilidade desse nutriente à biomassa (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Dessa forma, sistemas de uso do solo que visam a manutenção da cobertura vegetal e o seu menor revolvimento, potencializam os processos biológicos.

No domínio dos Cerrados, pode-se elencar o sistema plantio direto (SPD) e a integração lavoura-pecuária (ILP), como sistemas que resultam em melhores condições ambientais, uma vez que a diversidade observada nestes sistemas, os caminhos dos fluxos de nutrientes e outros processos comuns na natureza resultam em uma agricultura mais conservacionista (CARVALHO et al., 2010; ANGHINONI et al., 2011; LOSS et al., 2011; 2012a,b,c; 2013). Entre os sistemas de manejo supracitados (SPD e ILP), no sistema de ILP, que integra a produção de alimentos (principalmente grãos), a manutenção da cobertura vegetal e o pastejo animal (BALBINOT JUNIOR et al., 2009), pode-se ter uma dinâmica diferenciada das frações do P quando comparada ao sistema sem pastejo.

Os sistemas de manejo do solo alteram a dinâmica do P e, dessa forma, modificações nos conteúdos das diferentes formas de Po têm sido observadas em decorrência de práticas agrícolas, tais como a adubação mineral e orgânica (MATOS et al., 2006; GATIBONI et al., 2007; GUARDINI et al., 2012). Além disso, 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 (FONTANA et al., 2008; PAVINATO; ROSELEM, 2008; PEREIRA et al., 2010).

Pelo exposto, a hipótese deste trabalho foi que o sistema de ILP aumenta a disponibilização das frações de P no solo em comparação ao SPD sem pecuária. Assim, este trabalho teve como objetivos avaliar as frações de fósforo orgânico e inorgânico do solo, além de determinar os teores de fósforo remanescente (P-rem), e correlacionar as frações do P com alguns atributos edáficos em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Vargem Grande, pertencente à Agropecuária Peeters, localizada em Montividiu, GO (17°21'S, 51°28'W). O clima da região apresenta duas estações bem definidas: uma seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). A temperatura média anual varia entre 20 e 28°C.

O solo das áreas avaliadas foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico apresentando textura muito argilosa (SANTOS et al., 2006). Na composição mineralógica da fração argila predominam gibbsita, caulinita e hematita (LOSS, 2011). Alguns atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo nos diferentes sistemas e profundidades de uso do solo são mostrados na Tabela 1, conforme Embrapa (1997).

Anteriormente à realização das avaliações, existia uma cobertura vegetal de Cerradão que foi derrubada em 1975, para implantação de pastagens (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster). Após a retirada do Cerradão, a área foi preparada por meio de aração e gradagem niveladora (sistema de preparo convencional – SPC) para posterior semeadura da *U. decumbens*. Essa permaneceu na

área por 10 anos, sob uso contínuo, até 1985. Em seguida, as áreas foram cultivadas com grãos (milho, feijão, soja e girassol) sob SPC (aração e gradagem niveladora) até o ano de 1991. Posteriormente, foi

implantado o Sistema Plantio Direto (SPD) com rotação de culturas (milho, soja, algodão, feijão) e, a partir de 1999, parte do SPD foi transformado em Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (Figura 1).

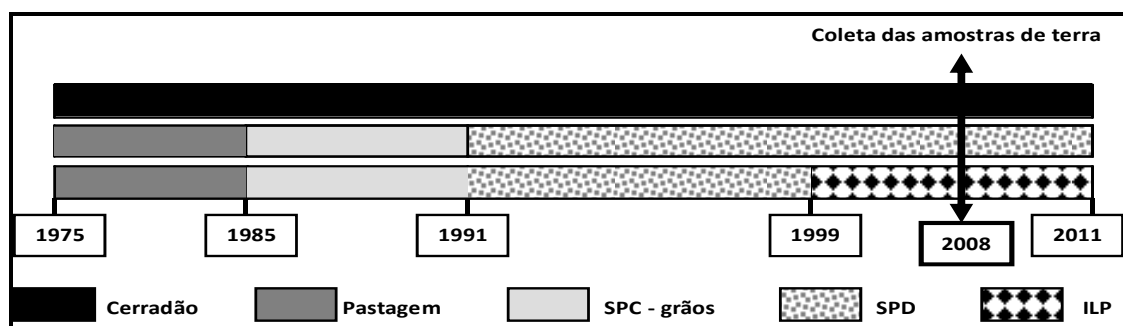
**Tabela 1.** Caracterização química, física e mineralógica das camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m do Latossolo Vermelho nos diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

| Atributos avaliados                       | Sistemas Avaliados |             |             |             |             |             |
|---|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | SPD                |             | ILP         |             | Cerradão    |             |
|   | 0,00-0,10 m        | 0,10-0,20 m | 0,00-0,10 m | 0,10-0,20 m | 0,00-0,10 m | 0,10-0,20 m |
| *pH H <sub>2</sub> O                      | 6,58               | 6,11        | 6,55        | 6,19        | 5,31        | 5,49        |
| *Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 4,07               | 2,54        | 5,86        | 4,30        | 1,58        | 0,92        |
| *Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 3,35               | 2,15        | 2,53        | 0,90        | 1,87        | 0,35        |
| *K (mg dm <sup>-3</sup> )                 | 78,0               | 39,0        | 93,6        | 70,2        | 60,3        | 23,4        |
| *P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>    | 8,1                | 2,8         | 12,1        | 4,1         | 1,9         | 1,0         |
| *Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 0,0                | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,70        | 0,55        |
| **COT (g kg <sup>-1</sup> )               | 35,92              | 25,56       | 36,90       | 28,04       | 40,87       | 27,11       |
| **N (g kg <sup>-1</sup> )                 | 1,52               | 1,30        | 1,50        | 1,40        | 3,51        | 2,49        |
| **C-HUM (g kg <sup>-1</sup> )             | 25,93              | 17,84       | 25,95       | 19,55       | 30,14       | 21,22       |
| **C-FAH (g kg <sup>-1</sup> )             | 3,87               | 2,70        | 3,83        | 2,10        | 4,50        | 1,28        |
| **C-FAF (g kg <sup>-1</sup> )             | 6,12               | 5,02        | 7,12        | 6,39        | 6,23        | 4,61        |
| *Argila (g kg <sup>-1</sup> )             | 660                | 730         | 640         | 670         | 610         | 630         |
| *Silte (g kg <sup>-1</sup> )              | 170                | 120         | 130         | 100         | 150         | 110         |
| *Areia (g kg <sup>-1</sup> )              | 170                | 150         | 230         | 230         | 240         | 260         |
| <sup>1</sup> Fed                          | 14,57              | 22,13       | 14,61       | 13,60       | 15,49       | 30,35       |
| <sup>2</sup> Feo                          | 0,90               | 0,63        | 1,09        | 1,04        | 1,09        | 0,51        |

1=Extrator Mehlich-1, COT=carbono orgânico total, C-HUM= carbono da fração humina, C-FAH= carbono da fração ácido húmico, C-FAF= carbono da fração ácido fúlvico, CSA= carbono solúvel em água, Fe<sub>d</sub>= Fe relativo à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos; Fe<sub>o</sub>= Fe referente aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade. SPD = girassol/milheto/soja/milho; ILP = milho+ *Brachiaria* /feijão/algodão/soja. 1=Determinado segundo Mehra e Jackson (1960). 2=Determinado segundo Schwertmann (1964). SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja.

**Fonte:** Loss et al. (2012c); Bezerra et al. (2013).

**Figura 1.** Histórico dos usos e processos de mudança do uso da terra, com as respectivas datas de implantação, na Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO. SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja.



**Fonte:** Loss (2011).



Os sistemas avaliados consistiram de duas áreas cultivadas em SPD por 17 anos (1991 a 2008): uma somente com rotação de culturas e sem pastejo animal (girassol-milheto-soja-milho), sendo designada de SPD, e outra com braquiária (*U. ruziziensis*) em consórcio com milho safrinha, para intensificar a produção de palhada no período seco do ano (milho-braquiária-feijão-algodão-soja), designada como ILP. Nessa área, o sistema de ILP tinha 9 anos de implantação (1999 a 2008), com o milho e a braquiária semeados simultaneamente (braquiária na entrelinha). Após a colheita do milho, foi feita a introdução de bovinos na área (2,0 UA por ha, sendo UA – unidade animal), com permanência dos animais por 90 dias (julho a setembro). Cada UA corresponde a um animal de 450 kg de peso vivo. Os animais utilizados eram adultos, da raça Nelore, gado de corte, com peso vivo entre 300 e 350 kg. Isto equivale a cerca de 3 animais ha<sup>-1</sup>, ou seja, a 900 kg ha<sup>-1</sup>. Após a retirada do gado, permaneceram apenas as touceiras de braquiária na área. Quando da ocasião das primeiras chuvas, realizou-se uma adubação em cobertura na braquiária com 200 kg ha<sup>-1</sup> do formulado N P K (20:00:20) a lanço na primeira quinzena de setembro. Após a rebrota, quando a área estava totalmente coberta pela capineira, foi feita a dessecação e o plantio do feijão. Uma área de Cerrado (Cerradão) natural mais próxima às áreas cultivadas e sob o mesmo solo (17°26.642'S; 51°22.522'W e altitude 951 m) foi considerada como condição original do solo.

Nas áreas sob ILP e SPD, aplicaram-se, em 2005, 3,60 e 2,90 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, com PRNT= 70 %, para a elevação da saturação por bases para 70 e 60 %, respectivamente. A sequência de culturas e adubações utilizadas nas duas áreas, desde o ano de 2002 até 2008, é apresentada na Tabela 2. Na área de SPD, todo mês de agosto, foi realizada a semeadura do milheto para produção de palhada para o plantio da soja em outubro. Anteriormente a 2002, a área permanecia em pousio durante os meses de maio a setembro, nascendo na área plantas da família das gramíneas, como o colônio e a braquiária.

A produtividade média de culturas e de matéria

seca nos sistemas avaliados durante o período de 1999-2008 é apresentada na Tabela 3. A matéria seca (serapilheira) depositado no solo na área de Cerradão no momento da coleta das amostras de solo também é apresentada na Tabela 3.

As áreas eram cultivadas com soja em SPD e feijão em ILP quando da coleta de amostras de terra para avaliação. Os sistemas de uso do solo estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas (mesmo solo e clima, textura argilosa, relevo plano), diferindo apenas no sistema de uso da terra. Dessa forma, delimitou-se uma área em torno de 600 m<sup>2</sup>, na qual foram abertas três trincheiras transversais às linhas de semeadura em cada área, para a coleta das amostras, realizadas no final de setembro de 2008. Na área de Cerradão, coletaram-se no centro do fragmento remanescente, próximo as áreas cultivadas. Foram amostradas as camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, sendo coletadas três amostras simples em cada profundidade, formando uma composta, com três repetições por sistema avaliado. Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar e peneiradas a 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

Através da extração sequencial com ácido diluído e álcali, obteve-se o fósforo orgânico (Po) solúvel em meio ácido e o Po solúvel em meio alcalino, segundo Bowman (1989) com adaptação de Guerra (1993). Foram determinadas, por diferença entre as leituras de P dos extratos digeridos (fósforo inorgânico – Pi) e não digerido (fósforo total – Pt) de cada fração, o Po solúvel em meio ácido (PoH<sup>+</sup>) e o Po solúvel em meio alcalino (PoOH<sup>-</sup>). A fração lábil do Po (Pol) foi obtida por extração com NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> (pH = 8,5), segundo Bowman e Cole (1978). O Pi foi determinado após clarificação dos extratos com carvão ativo (GUERRA et al., 1996). O teor de Pi nos extratos ácidos e alcalinos foi determinado pelo método de Murphy e Riley (1962). A determinação do P remanescente (P-rem) foi realizada em amostras da TFSA, conforme Alvarez e Fonseca (1990).

**Tabela 2.** Sequência de culturas e adubações utilizadas nas áreas avaliadas da Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

| Ano  | Mês de plantio | Cultura            | Adubação                            |                                     |
|--|----------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|  |                |                    | Plantio                             | Cobertura                           |
| Área de ILP (milho-braquiária-feijão-algodão-soja) |                |                    |                                     |                                     |
| 2002   | Outubro        | Soja               | 580 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2003   | Fevereiro      | Milho+Braquiária   | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2003   | Outubro        | Soja               | 580 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2004   | Fevereiro      | Milho+Braquiária   | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2004   | Outubro        | Soja               | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2005   | Fevereiro      | Milho + Braquiária | 490 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2005   | Setembro       | Feijão             | 400 kg ha <sup>-1</sup> de 05:20:10 | 90 kg ha <sup>-1</sup> de uréia     |
| 2005   | Dezembro       | Algodão            | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 10:30:10 | 250 kg ha <sup>-1</sup> de 20:00:20 |
| 2006   | Outubro        | Soja               | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2007   | Fevereiro      | Milho+Braquiária   | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2007   | Outubro        | Soja               | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2008   | Fevereiro      | Milho+Braquiária   | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2008   | Setembro       | Feijão             | 400 kg ha <sup>-1</sup> de 05:20:10 | 90 kg ha <sup>-1</sup> de uréia     |
| 2008   | Dezembro       | Algodão            | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 10:30:10 | 250 kg ha <sup>-1</sup> de 20:00:20 |
| Área de SPD (girassol-milheto-soja-milho)          |                |                    |                                     |                                     |
| 2002   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2002   | Outubro        | Soja               | 550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2003   | Fevereiro      | Milho              | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2003   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2003   | Outubro        | Soja               | 550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2004   | Fevereiro      | Milho              | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2004   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2004   | Outubro        | Soja               | 550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2005   | Fevereiro      | Milho              | 450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2005   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2005   | Outubro        | Soja               | 550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2006   | Fevereiro      | Girassol           | 300 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:20 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2006   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2006   | Outubro        | Soja               | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2007   | Fevereiro      | Milho              | 400 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2007   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2007   | Outubro        | Soja               | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |
| 2008   | Fevereiro      | Girassol           | 300 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:20 | 100 kg ha <sup>-1</sup> de uréia    |
| 2008   | Agosto         | Milheto            | -----                               | -----                               |
| 2008   | Outubro        | Soja               | 500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18 | -----                               |

**Fonte:** Loss (2011).

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foram avaliados como delineamento inteiramente casualizado, sendo os resultados submetidos à análise de variância com aplicação do teste F entre os três sistemas de uso do solo – tratamentos (SPD, ILP e Cerradão)

e entre as quatro profundidades, todos com três repetições cada. Os valores médios obtidos, quando significativos, foram comparados entre si pelo teste LSD-student a 5 %. Os coeficientes de correlação de Pearson, utilizados como medida de dependência entre alguns atributos edáficos (Tabela 1) com as frações de P, foram estimados por meio do aplicativo Xlstat.

**Tabela 3.** Produtividade média<sup>1</sup> das culturas e matéria seca das plantas de coberturas nas áreas cultivadas e serapilheira no Cerradão, Montividiu, GO.

| Produtividade média<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Sistemas de uso do solo |       |          |
|---|-------------------------|-------|----------|
|   | ILP                     | SPD   | Cerradão |
| Soja  | 3.780                   | 3.696 | -----    |
| Milho   | 6.282                   | 5.550 | -----    |
| Algodão                                       | 4.470                   | 2.340 | -----    |
| Feijão  | 2.580                   | ----- | -----    |
| Massa seca (braquiaria)                       | 11.300                  | ----- | -----    |
| Massa seca (milheto)                          | -----                   | 7.800 | -----    |
| Massa seca (serapilheira)                     | -----                   | ----- | 5.550    |

SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja.

**Fonte:** Loss et al. (2012b).

## Resultados e Discussão

### *Teores de P solúveis em meio ácido*

De forma geral, há maior proporção das frações de Pi quando comparado ao Po, e maiores teores de PiH<sup>+</sup> na camada superficial do solo, com destaque para as áreas de ILP e SPD em comparação ao Cerradão (Tabela 4). Esse padrão pode ser atribuído à adição de P, através da adubação fosfatada (Tabela 2), até que ocorrera à saturação superficial dos sítios de adsorção. Maiores teores de Pi em solos cultivados são decorrentes de adubações recebidas anteriormente (Tabela 2), que contribuem para a transformação do fertilizante fosfatado, a longo prazo, em formas menos disponíveis de P, tais como aquelas ligadas aos óxidos de Fe e Al, conforme constatado por Silva et al. (2003). E, no solo avaliado (Latossolo Vermelho), tem-se altos teores de argila e óxidos de Fe e Al (LOSS, 2011), portanto, com alta capacidade de adsorção de P, que faz com que este elemento fique menos disponível para as plantas e os microrganismos. No entanto, à medida que se adiciona P ao solo (Tabela 2), aumenta as frações de Pi, indicando um processo de saturação dos sítios de adsorção (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Os maiores valores de todas as frações de P na camada superficial do solo nas áreas cultivadas são decorrentes do sistema de manejo (SPD e ILP). Nestes sistemas, os fertilizantes fosfatados são adicionados na superfície do solo, que somado à constante adição de resíduos vegetais e a ausência de revolvimento do solo, intensifica a ciclagem de P na camada superficial do solo. Nesta camada, sua adsorção é menor (GUERTAL et al., 1991), causada pela saturação dos sítios de adsorção e pela diminuição da energia de ligação do fosfato com os colóides do solo, propiciando aumento do P em formas mais lábeis (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003; SILVA et al., 2003). Na área de Cerradão, os maiores teores de COT e carbono das substâncias húmicas (Tabela 1) competem pelos sítios de adsorção do fosfato (FONTANA et al., 2008), favorecendo aos maiores de Pi nesta camada.



**Tabela 4.** Fósforo inorgânico (PiH<sup>+</sup>), P orgânico (PoH<sup>+</sup>) e P total (PtH<sup>+</sup>) solúveis em meio ácido e relação Po H<sup>+</sup>/Pt H<sup>+</sup> nas diferentes profundidades e sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

| <b>Sistemas Avaliados</b> | <b>Profundidade (m) / PiH<sup>+</sup> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>    |                  |                  |                  | <b>CV (%)</b> |
|---------------------------|---|------------------|------------------|------------------|---------------|
|                           | <b>0,00-0,10</b>  | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 216,55 Ba   | 212,90 Bb        | 203,44 Ac        | 120,22 Ad        | <b>2,44</b>   |
| <b>SPD</b>                | 225,06 Aa   | 219,22 Ab        | 192,72 Bc        | 95,26 Bd         | <b>3,95</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 210,92 Ca   | 204,66 Cb        | 186,81 Cc        | 90,14 Cd         | <b>3,10</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>1,25</b>   | <b>1,30</b>      | <b>2,13</b>      | <b>3,66</b>      | <b>-</b>      |
|                           | <b>Profundidade (m) / PoH<sup>+</sup> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>    |                  |                  |                  |               |
|                           | <b>0,00-0,10</b>  | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 76,37 Aa  | 53,19 Ab         | 44,41 Ac         | 22,19 Bd         | <b>3,15</b>   |
| <b>SPD</b>                | 51,18 Ca  | 40,22 Bb         | 27,95 Cc         | 19,54 Cd         | <b>3,22</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 62,13 Ba  | 36,27 Cc         | 40,21 Bb         | 27,08 Ad         | <b>3,46</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>1,36</b>   | <b>1,50</b>      | <b>1,33</b>      | <b>1,40</b>      | <b>-</b>      |
|                           | <b>Profundidade (m) / PtH<sup>+</sup> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>    |                  |                  |                  |               |
|                           | <b>0,00-0,10</b>  | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 292,92 Aa   | 266,09 Ab        | 247,85 Ac        | 142,41 Ad        | <b>2,15</b>   |
| <b>SPD</b>                | 276,24 Ba   | 259,44 Bb        | 220,67 Cc        | 114,80 Bd        | <b>2,22</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 273,05 Ba   | 240,93 Cb        | 227,02 Bc        | 117,22 Bd        | <b>2,46</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>1,65</b>   | <b>1,31</b>      | <b>1,53</b>      | <b>1,62</b>      | <b>-</b>      |
|                           | <b>Profundidade (m) / PoH<sup>+</sup>/PtH<sup>+</sup> (%) (%)</b> |                  |                  |                  |               |
|                           | <b>0,00-0,10</b>  | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 26,07 Aa  | 19,98 Ab         | 17,91 Ac         | 15,58 Bd         | <b>0,88</b>   |
| <b>SPD</b>                | 18,52 Ca  | 15,50 Bb         | 12,66 Bd         | 17,02 Bc         | <b>0,73</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 22,75 Ba  | 15,05 Bb         | 17,71 Ab         | 23,10 Aa         | <b>0,67</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>0,91</b>   | <b>0,51</b>      | <b>0,47</b>      | <b>0,58</b>      | <b>-</b>      |

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas iguais nas linhas, em cada sistema, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja. CV=coeficiente de variação.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Resultados semelhantes a esses foram relatados por Nogueira et al. (2008), onde os autores avaliaram formas de P em diferentes sistemas de manejo do solo (agrosilvipastoril e convencional) que utilizaram adubação fosfatada. Os autores observaram maior concentração de PiH<sup>+</sup> na área agrosilvipastoril quando comparada a área convencional. E, também foi relatado que essa fração foi maior na camada superficial (0-6 cm) do solo, atingido valores em média de 279,4 mg kg<sup>-1</sup> de P. Rheinheimer e Anghinoni (2001) avaliando as formas de P em solos com diferentes teores de argila submetidos ao preparo convencional do solo e ao SPD, verificaram que no SPD houve aumento de P nas camadas superficiais, principalmente nas formas inorgânicas disponíveis e moderadamente

disponíveis, permitindo a manutenção de teores de P na solução do solo mais elevados do que na área sob preparo convencional do solo.

Nas áreas cultivadas, verificaram-se maiores teores de PiH<sup>+</sup> na área sob SPD nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m e, para as camadas de 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, a área de ILP apresentou maiores teores de PiH<sup>+</sup>. A área de Cerradão apresentou os menores teores de PiH<sup>+</sup> em todas as profundidades avaliadas. Esses resultados podem estar associados a formas de P ligadas ao Ca (Ca-P), pois a extração de P em meio ácido solubiliza essas formas (NOVAIS; SMITH, 1999), ou seja, de baixa solubilidade, sendo essas mais presentes no solo. Dessa forma, os maiores teores de PiH<sup>+</sup> nas áreas cultivadas podem estar relacionados com os maiores teores

de Ca presentes no SPD e ILP quando comparado ao Cerradão (Tabela 1), sendo esses teores de Ca oriundos das adições de calcário na superfície do solo ao longo tempo e da decomposição e liberação de nutrientes (Ca) oriundos da matéria seca da palhada do milheto e da braquiária (Tabela 3), principalmente.

Entre as áreas cultivadas, o SPD sem pastejo proporciona melhores condições de disponibilidade para  $\text{PiH}^+$  nas camadas superficiais e na área de ILP, esse padrão foi observado nas camadas subsuperficiais. Essas diferenças podem ser decorrentes dos teores e estoques de Ca e Mg encontrados nas áreas, onde se tem maiores teores e estoques de Mg na área de SPD e maiores teores e estoques de Ca na área de ILP (LOSS et al., 2012c). Esse padrão também pode ser verificado pela

correlação positiva encontrada entre os teores de Ca e Mg e os valores de pH (Tabela 5), com maiores valores para a correlação entre Mg e  $\text{PiH}^+$  ( $r=0,87$ ) em relação ao Ca ( $r=0,68$ ).

Nos solos ácidos e pobres em Ca, assim como na área de Cerradão (Tabela 1), a maior parte do P natural do solo forma precipitados com Al e Fe e/ou é adsorvida especificamente à superfície dos colóides minerais, de modo que as frações Al-P e Fe-P são as que predominam (SOUZA JÚNIOR et al., 2012). Dessa forma, na área de Cerradão, o  $\text{PiH}^+$  é proveniente das frações Fe-P e Al-P, com destaque para essa última, pois se verificou correlação positiva do Al com  $\text{PiH}^+$  ( $r=0,82$ ) e também com a fração argila ( $r=0,52$ ), onde encontram-se as formas de P associadas aos óxidos de ferro (Fe-P) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Matriz<sup>1</sup> de correlação entre as frações de P e alguns atributos edáficos.

|        | PiH          | PtH          | PoH          | PoH/<br>PtH  | PiOH         | PtOH        | PoOH         | PoOH/<br>PtOH | PiL          | PtL   | PoL          | PoL/<br>PtL  | Prem        |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------------|
| COT    | 0,12         | <b>0,68</b>  | <b>0,75</b>  | <b>0,76</b>  | 0,41         | 0,16        | 0,43         | -0,12         | 0,24         | -0,11 | 0,29         | -0,09        | <b>0,57</b> |
| Argila | <b>0,52</b>  | -0,15        | -0,42        | <b>-0,49</b> | -0,42        | 0,16        | 0,19         | 0,25          | <b>-0,68</b> | -0,29 | 0,34         | <b>0,67</b>  | -0,47       |
| Fed    | -0,45        | <b>-0,80</b> | <b>-0,72</b> | <b>-0,66</b> | <b>-0,56</b> | 0,04        | -0,39        | <b>-0,61</b>  | -0,08        | 0,37  | <b>-0,64</b> | -0,20        | -0,18       |
| Feo    | 0,21         | <b>0,84</b>  | <b>0,88</b>  | <b>0,85</b>  | <b>0,74</b>  | -0,04       | 0,25         | <b>0,50</b>   | 0,37         | -0,25 | <b>0,49</b>  | -0,09        | 0,34        |
| C-HUM  | 0,01         | <b>0,52</b>  | <b>0,62</b>  | <b>0,65</b>  | 0,29         | 0,14        | 0,36         | -0,25         | 0,26         | -0,03 | 0,14         | 0,16         | <b>0,56</b> |
| C-FAH  | 0,40         | <b>0,83</b>  | <b>0,79</b>  | <b>0,76</b>  | 0,40         | 0,18        | <b>0,56</b>  | 0,11          | 0,05         | -0,30 | <b>0,57</b>  | 0,17         | <b>0,42</b> |
| C-FAF  | 0,32         | <b>0,93</b>  | <b>0,94</b>  | <b>0,90</b>  | <b>0,83</b>  | 0,17        | 0,39         | 0,45          | 0,27         | -0,24 | <b>0,59</b>  | 0,01         | <b>0,55</b> |
| N      | <b>-0,52</b> | -0,14        | 0,08         | 0,14         | -0,18        | -0,34       | -0,23        | <b>-0,54</b>  | 0,41         | 0,21  | <b>-0,51</b> | <b>-0,49</b> | -0,05       |
| pH     | <b>0,72</b>  | 0,42         | 0,15         | 0,06         | 0,21         | 0,31        | 0,41         | <b>0,63</b>   | <b>-0,47</b> | -0,38 | <b>0,73</b>  | <b>0,63</b>  | -0,02       |
| Ca     | <b>0,68</b>  | <b>0,54</b>  | 0,31         | 0,23         | 0,40         | 0,33        | 0,42         | <b>0,67</b>   | -0,33        | -0,35 | <b>0,75</b>  | <b>0,53</b>  | 0,15        |
| Mg     | <b>0,87</b>  | 0,26         | -0,10        | -0,18        | -0,21        | <b>0,65</b> | <b>0,69</b>  | 0,17          | <b>-0,85</b> | -0,35 | <b>0,74</b>  | <b>0,91</b>  | 0,07        |
| Al     | <b>0,82</b>  | <b>-0,49</b> | -0,22        | -0,12        | -0,27        | -0,43       | <b>-0,51</b> | <b>-0,59</b>  | <b>0,48</b>  | 0,38  | <b>-0,79</b> | <b>-0,65</b> | -0,14       |
| K      | <b>0,53</b>  | <b>0,48</b>  | 0,18         | 0,07         | 0,18         | <b>0,48</b> | <b>0,59</b>  | <b>0,54</b>   | <b>-0,57</b> | -0,36 | <b>0,83</b>  | <b>0,73</b>  | 0,14        |
| P      | <b>-0,75</b> | <b>0,59</b>  | 0,44         | 0,37         | <b>0,59</b>  | 0,28        | 0,31         | <b>0,69</b>   | -0,12        | -0,27 | <b>0,66</b>  | 0,33         | 0,25        |

Em negrito, valores significativos a 5%. 1=Foram utilizados os valores (n=6) referentes às profundidades de 0-10 e 10-20 cm, conforme consta na Tabela 1.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Para o  $\text{PoH}^+$  verificaram-se maiores teores para as áreas de ILP e Cerradão, destacando-se os maiores teores no sistema de ILP, com exceção a última camada (0,30-0,40 m), onde a área de Cerradão apresentou os maiores teores. A área de

SPD apresentou os menores teores de  $\text{PoH}^+$  nas camadas de 0,0-0,10, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m (Tabela 4). Esses resultados são decorrentes dos maiores teores de COT encontrados nas áreas de ILP e Cerradão (BEZERRA et al., 2013), o

que corrobora a correlação positiva entre COT e  $\text{PoH}^+$ , além da correlação positiva entre as frações do COT (C-HUM, C-FAH e C-FAF) e o  $\text{PoH}^+$  (Tabela 5). Bezerra et al. (2013) quantificaram os teores de C-HUM, C-FAH e C-FAF nessas mesmas áreas e profundidades de estudo e encontraram maiores teores de C-HUM e C-FAF em todas as profundidades para Cerradão e ILP. Para a área de SPD, verificaram-se maiores teores de C-FAH, com destaque para a profundidade de 0,10-0,20 m. Esses resultados corroboram os maiores teores de  $\text{PoH}^+$  nas áreas de ILP e Cerradão, associado ao C-HUM e C-FAF, e maiores teores de  $\text{PoH}^+$  na área de SPD, associado ao C-FAH.

Entre as áreas cultivadas, no sistema de ILP, a maior produção de massa seca da braquiária (Tabela 3), o pastejo animal (fezes e urina deixadas aleatoriamente na superfície) e o uso de duas leguminosas na rotação de culturas (Tabela 2) favorecem o aumento dos teores de MOS. Consequentemente, tem-se maiores teores de  $\text{PoH}^+$  no sistema de ILP quando comparado com o SPD, sem pastejo. Dentro das frações da MOS, destaca-se o C-FAF (maior valor de correlação –  $r=0,94$  – com o  $\text{PoH}^+$ , Tabela 5), que apresentou os maiores teores no sistema de ILP em todas as profundidades avaliadas (BEZERRA et al., 2013).

A fração de  $\text{PoH}^+$  representa a fração de P moderadamente lábil e está associada a substâncias não-húmicas e aos ácidos fúlvicos (BOWMAN; COLE, 1978). A acessibilidade ao  $\text{PoH}^+$  pelos microrganismos e plantas associado ao C-FAF pode ser mais fácil do que ao P associado ao C-FAH, visto que este último apresenta maior resistência à mineralização quando comparado ao C-FAF (STEVENSON, 1994; DUDA, 2000; GUPPY et al., 2005). Segundo Heng (1989) e Guppy et al. (2005), o C-FAF é mais efetivo na redução da adsorção de P em comparação ao C-FAH (maior valor de correlação positiva do C-FAF e  $\text{PoH}^+$ ,  $r=0,94$ , quando comparado com C-FAH,  $r=0,79$ , Tabela 5), sendo esse efeito mais expressivo em solos com elevados teores de gibbsita. Na área de

estudo, segundo Loss (2011), a gibbsita é o mineral predominante

Os ácidos fúlvicos e húmicos apresentam grande potencial de competir com o P nos sítios de adsorção e, ou complexar grupamentos com potencial para adsorver P, mantendo o P mais solúvel (PAVINATO; ROSELEM, 2008). Esse padrão é corroborado por Guppy et al. (2005), que demonstraram que os ácidos húmicos e fúlvicos diminuíram a adsorção de P de 27 a 63 % em Latossolos, quando avaliado logo após a aplicação dos ácidos (C-FAF e C-FAH) no solo. Entretanto, esses autores relataram que após 10 dias da aplicação dos ácidos, a eficiência de competição foi reduzida, possivelmente pela degradação dos ácidos pelos microrganismos do solo.

Além da participação dos ácidos húmicos e fúlvicos na disponibilização de  $\text{PoH}^+$  (Tabela 5), tem-se a liberação dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, málico, oxiláico, tartárico, entre outros), que competem pelos sítios de adsorção do P, fazendo com que o P na forma orgânica seja liberado para a solução, por meio da quelatização de oxihidróxidos de Fe e Al, aumentando, dessa forma, a solubilidade de P no solo (JONES et al., 2003; GUPPY et al., 2005; TIRLONI et al., 2009). Assim, no sistema de ILP, com maior produção de palhada (Tabela 3), pode-se ter maior liberação desses ácidos de baixo peso molecular e, favorecer a liberação de  $\text{PoH}^+$  em comparação ao SPD e o Cerradão.

Para a fração de  $\text{PtH}^+$ , considerando a camada de 0,0-0,10 cm, foram encontrados os maiores teores, independentemente, dos sistemas avaliados (Tabela 4). Isso pode ser explicado por ser a região de colocação do fertilizante (Tabela 2) e, no somatório das frações ( $\text{PiH}^+ + \text{PoH}^+$ ), há um acúmulo significativo para a camada superficial. E, entre os sistemas avaliados, destaca-se o ILP, que apresentou os maiores teores de  $\text{PtH}^+$ , independente da camada avaliada (Tabela 4), com ênfase na maior participação da fração orgânica ( $\text{PoH}^+$ ) nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 cm e da fração inorgânica ( $\text{PiH}^+$ ) nas camadas subsuperficiais (Tabela 4).

Em relação à proporção  $PoH^+/PtH^+$  verifica-se o predomínio dessa relação na camada superficial do solo, o que está associado a deposição de resíduos vegetais (Tabela 3) e a maior atividade microbiana. As correlações verificadas entre  $PoH^+$ ,  $PtH^+$  e  $PoH^+/PtH^+$  com os óxidos de ferro ( $Fe_d$  e  $Fe_o$ ) indicam a influência desses na adsorção de P. E entre as formas de ferro, verificou-se maiores valores de correlação (positiva) com as frações de P e o  $Fe_o$  (Tabela 5). Esses resultados confirmam que as formas de baixa cristalinidade dos óxidos de ( $Fe_o$ ) apresentam maior efeito na adsorção de P quando comparadas as extraídas com ditionito citrato bicarbonato de sódio ( $Fe_d$ ), pois a capacidade de adsorção dos óxidos está diretamente ligada à superfície específica, que diminui com o aumento da cristalinidade ( $Fe_d$  mais cristalino que  $Fe_o$ ). Esses resultados são corroborados por Eberhardt et al. (2008), que avaliando a retenção dos teores totais de P relacionadas aos óxidos de ferro ( $Fe_o$  e  $Fe_d$ ) em Latossolos sob pastagens do Cerrado encontraram correlações entre os óxidos de ferro e as formas de P, indicando a grande capacidade desses óxidos na adsorção de P.

Mesmo com correlações positivas entre  $Fe_o$  e  $PtH^+$  e  $PoH^+/PtH^+$  (Tabela 5), as diferenças encontradas para essas frações de P, sendo verificadas, de maneira geral, maiores valores para as áreas de ILP e Cerradão (Tabela 4), podem ser decorrentes dos maiores valores de C-FAF nessas áreas em comparação ao SPD (BEZERRA et al., 2013). Esse resultado pode ser confirmado pelos valores de correlação entre as frações de P ( $PtH^+$ ,  $PoH^+$  e  $PoH^+/PtH^+$ ) e o C-FAF, que foram maiores entre todos os parâmetros correlacionados (Tabela 5), indicando que o C-FAF tem grande potencial para competir com os sítios de adsorção de P, mantendo o P na solução do solo, tal como relatam Pavinato e Roselem (2008).

#### *Teores de P solúveis em meio básico*

O  $PiOH^-$ , assim como o  $PiH^+$ , apresentou variações entre os sistemas de uso do solo e profundidades avaliadas. Entretanto, diferindo do  $PiH^+$ , o  $PiOH^-$  apresentou maiores valores em todas as camadas avaliadas para o sistema de ILP, sendo no SPD observado os menores valores entre todos os sistemas avaliados, com exceção à camada superficial (Tabela 6).

Segundo Stevenson (1994), a fração de  $PiOH^-$  é considerada de baixa mineralização devido a estarem associadas aos ácidos húmicos, que são mais estáveis quando comparados aos ácidos fúlvicos. Dessa forma, os menores teores de  $PiOH^-$  no SPD podem estar associados aos maiores teores de C-FAH (BEZERRA et al., 2013). E, consequentemente, no sistema de ILP, os maiores teores de  $PiOH^-$  estão associados aos maiores valores de C-FAF (BEZERRA et al., 2013), sendo a única fração da MOS que apresentou correlação positiva ( $r=0,83$ , Tabela 5) com o  $PiOH^-$ .

Em relação à profundidade, verificou-se padrão semelhante ao  $PiH^+$ , com maiores valores na camada superficial, com decréscimo dos teores de P a medida que aumenta a profundidade (Tabela 6). Esses resultados estão associados aos maiores teores de MOS, que por sua vez são decorrentes do aporte de material vegetal na camada superficial do solo, associados ao aporte de massa seca de cada área avaliada (Tabela 3).

**Tabela 6.** Fósforo inorgânico (Pi OH<sup>-</sup>), fósforo total (Pt OH<sup>-</sup>), fósforo orgânico (Po OH<sup>-</sup>) e relação Po OH<sup>-</sup> /Pt OH<sup>-</sup> solúveis em meio básico nas diferentes profundidades e sistemas de uso do solo em Montividiu- GO.

| Sistemas Avaliados | Profundidade (m) / PiOH <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) |             |             |             | CV (%)      |
|--------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | 0,00-0,10   | 0,10-0,20   | 0,20-0,30   | 0,30-0,40   |             |
| <b>ILP</b>         | 134,30 Aa   | 129,75 Ab   | 124,77 Ac   | 112,43 Ad   | <b>2,44</b> |
| <b>SPD</b>         | 119,41 Ba   | 110,34 Cb   | 94,04 Cc    | 77,54 Cd    | <b>1,95</b> |
| <b>Cerradão</b>    | 120,86 Ba   | 117,22 Bb   | 114,65 Bc   | 98,81 Bd    | <b>2,10</b> |
| <b>CV (%)</b>      | <b>1,95</b>   | <b>0,15</b> | <b>0,64</b> | <b>1,13</b> | <b>-</b>    |
|                    | Profundidade (m) / PoOH <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) |             |             |             |             |
|                    | 0,00-0,10   | 0,10-0,20   | 0,20-0,30   | 0,30-0,40   |             |
| <b>ILP</b>         | 48,77 Ba  | 42,44 Bb    | 37,47 Bc    | 29,36 Cd    | <b>2,86</b> |
| <b>SPD</b>         | 52,98 Aa  | 47,12 Ab    | 42,59 Ac    | 33,22 Bd    | <b>2,28</b> |
| <b>Cerradão</b>    | 45,81 Ca  | 41,90 Cb    | 30,55 Cd    | 37,12 Ac    | <b>2,56</b> |
| <b>CV (%)</b>      | <b>1,08</b>   | <b>0,83</b> | <b>1,71</b> | <b>1,23</b> | <b>-</b>    |
|                    | Profundidade (m) / PtOH <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) |             |             |             |             |
|                    | 0,00-0,10   | 0,10-0,20   | 0,20-0,30   | 0,30-0,40   |             |
| <b>ILP</b>         | 183,07 Aa   | 172,19 Ab   | 162,24 Ac   | 145,79 Ad   | <b>8,90</b> |
| <b>SPD</b>         | 172,39 Ba   | 157,46 Bb   | 136,63 Cc   | 110,76 Cd   | <b>5,66</b> |
| <b>Cerradão</b>    | 166,67 Ca   | 159,12 Bb   | 145,20 Bc   | 135,93 Bd   | <b>4,46</b> |
| <b>CV (%)</b>      | <b>2,88</b>   | <b>6,12</b> | <b>1,99</b> | <b>2,21</b> | <b>-</b>    |
|                    | Profundidade (m) / PoOH <sup>-</sup> /PtOH <sup>-</sup> (%) |             |             |             |             |
|                    | 0,00-0,10   | 0,10-0,20   | 0,20-0,30   | 0,30-0,40   |             |
| <b>ILP</b>         | 26,64 Ba  | 24,65 Bab   | 23,10 Bb    | 20,71 Cc    | <b>6,90</b> |
| <b>SPD</b>         | 30,73 Aa  | 29,63 Aa    | 31,17 Aa    | 29,99 Aa    | 5,46        |
| <b>Cerrado</b>     | 27,49 Ba  | 26,33 Ba    | 21,04 Bb    | 27,31 Ba    | 3,58        |
| <b>CV (%)</b>      | <b>2,13</b>   | <b>4,00</b> | <b>3,96</b> | <b>2,10</b> | <b>-</b>    |

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas iguais nas linhas, em cada sistema, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja. CV=coeficiente de variação.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Para a fração de PoOH<sup>-</sup>, considerando todas as profundidades, em função dos sistemas de uso do solo, verificaram-se maiores valores nos sistemas cultivados quando comparados aos encontrados na área de Cerradão, exceção apenas na última camada. Esses resultados podem estar associados ao maior aporte de material vegetal (Tabela 3) presente nas áreas cultivadas em comparação ao Cerradão. E, nas áreas cultivadas, têm-se plantas de cobertura (braquiária e milheto), ambas gramíneas, que são mais eficientes no aproveitamento do P (CRUSCIOL; BORGHI, 2007), quando comparado a vegetação original.

Entre as áreas cultivadas, no SPD observaram-se os maiores teores de PoOH<sup>-</sup> em todas as profundidades avaliadas. Esse resultado pode ser

decorrente dos maiores teores de C-FAH no SPD (BEZERRA et al., 2013), visto que apenas esta fração da MOS apresentou correlação positiva com o PoOH<sup>-</sup> (r=0,59). Além disso, entre todos os atributos que apresentaram correlação como Po OH<sup>-</sup> (Tabela 5), destaca-se o Mg com o maior valor (r=0,69). No SPD, tem-se os maiores estoques de Mg em todas as camadas avaliadas (LOSS et al., 2012c), quando comparado aos demais sistemas. Assim, os maiores estoques de Mg no SPD podem estar favorecendo o aumento do PoOH<sup>-</sup>.

Os resultados desse estudo foram semelhantes aos encontrados por Tokura et al. (2002), onde os autores avaliaram as formas de fósforo em áreas cultivadas e comparadas com áreas de Cerrado natural em Neossolo Quartzarênico e Latossolo



Vermelho, ambas em ambiente de Cerrado no Brasil central. Os autores constataram que o  $\text{PoOH}^-$  apresentou maiores valores nas áreas cultivadas em relação às não-cultivadas, nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m.

Segundo Williams, Mayer e Nriagu (1980), o NaOH remove formas de P associadas a fosfatos amorfos e cristalinos de Fe e de Al. Dessa forma, as correlações encontradas entre  $\text{PiOH}^-$  e a relação  $\text{PoOH}^-/\text{PtOH}^-$  com  $\text{Fe}_d$  e  $\text{Fe}_o$  (Tabela 5) e o  $\text{PoOH}^-$  e  $\text{PoOH}^-/\text{PtOH}^-$  com o Al (Tabela 5), indicam que parte das formas de P extraídas com NaOH podem estar associadas aos óxidos de Fe e Al. Os maiores teores de  $\text{PoOH}^-$  na camada de 0,30-0,40 m na área de Cerradão pode ser decorrente de P oriundo de formas associadas ao Al, uma vez que nesta área tem-se os maiores teores de Al (Tabela 1).

Em relação ao  $\text{PtOH}^-$ , verificou-se padrão semelhante a fração que compõe a sua maior parte ( $\text{PiOH}^-$ ), com maiores teores no sistema de ILP. Este padrão pode ser decorrente das adubações realizadas nas áreas, uma vez que na camada superficial, as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de  $\text{PtOH}^-$ , em comparação ao Cerradão (Tabela 6).

Para a relação  $\text{PoOH}^-/\text{PtOH}^-$  verificaram-se maiores valores na área de SPD, o que está associado aos maiores valores de  $\text{PoOH}^-$  nesta área (Tabela 6). Comparando-se as correlações encontradas entre os atributos edáficos com  $\text{PoOH}^-/\text{PtOH}^-$  verificou-se maiores correlações com os elementos associados a adubação (N, P, K, Ca, pH, além do Al) e, com  $\text{PoH}^+/\text{PtH}^+$ , verificou-se predomínio de correlações com os atributos da MOS (COT, C-FAF, C-FAH, C-HUM, além da argila) (Tabela 5). Pode-se concluir que as formas de P em meio básico estão mais associadas às adubações realizadas e as formas de P associadas ao meio ácido estão mais relacionadas com as frações da MOS.

#### *Teores de P solúveis em bicarbonato de sódio*

Os teores de Pil foram maiores na área de Cerradão apenas na camada superficial do solo. Para as demais camadas, a área de ILP apresentou os maiores valores para essa fração e os menores valores foram encontrados na área de SPD, para todas as camadas avaliadas (Tabela 7).

Esses altos valores encontrados da fração de Pil na área de Cerradão em superfície, possivelmente, podem ser devidos a presença de ácidos orgânicos liberados durante a mineralização de compostos orgânicos oriundos do aporte de resíduos vegetais, associado à ausência de influência antrópica nessa área. Além disso parte dessa fração pode também ser decorrente da solubilização de fosfatos complexados pelo Fe e Al, sendo verificado correlação com a fração argila e o Al (Tabela 5).

Os maiores teores de Pil encontrados na camada superficial do solo na área de Cerradão não corroboram com os dados normalmente observados na literatura, pois essa área não recebeu adubação. Segundo Zhang e Mackenzie (1997), a fração lábil de P tem estreita relação com o incremento desse nutriente no solo, via adubação mineral. Assim, todo o P oriundo dos fertilizantes, é acumulado na forma inorgânica existente do solo (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

**Tabela 7.** Fósforo inorgânico lábil (Pil), fósforo total (Ptl), fósforo orgânico (Pol) solúveis em bicarbonato de sódio e relação Pol/Ptl, nas diferentes profundidades e sistemas de uso do solo, em Montividiu- GO.

| <b>Sistemas Avaliados</b> | <b>Profundidade (m) / Pil (mg kg<sup>-1</sup>)</b> |                  |                  |                  | <b>CV (%)</b> |
|---------------------------|--|------------------|------------------|------------------|---------------|
|                           | <b>0,00-0,10</b>                                   | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 128,09 Bc  | 145,92 Aa        | 142,03 Aa        | 138,26 Ab        | <b>4,44</b>   |
| <b>SPD</b>                | 23,23 Cab  | 25,14 Ca         | 19,70 Cc         | 17,18 Cc         | <b>3,95</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 139,56 Aa  | 132,02 Bb        | 121,01 Bc        | 20,28 Bd         | <b>3,10</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>1,31</b>  | <b>1,39</b>      | <b>1,42</b>      | <b>1,83</b>      | <b>-</b>      |
|                           | <b>Profundidade (m) / Pol (mg kg<sup>-1</sup>)</b> |                  |                  |                  |               |
|                           | <b>0,00-0,10</b>                                   | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 74,76 Ba   | 61,97 Bb         | 57,88 Ac         | 35,88 Ad         | <b>2,22</b>   |
| <b>SPD</b>                | 95,23 Aa   | 65,37 Ab         | 45,77 Bc         | 26,02 Bd         | <b>3,04</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 50,48 Ca   | 22,22 Cb         | 16,02 Cc         | 9,17 Cd          | <b>3,66</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>1,53</b>  | <b>2,90</b>      | <b>2,33</b>      | <b>3,01</b>      | <b>-</b>      |
|                           | <b>Profundidade (m) / Ptl (mg kg<sup>-1</sup>)</b> |                  |                  |                  |               |
|                           | <b>0,00-0,10</b>                                   | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 202,85 Ab  | 207,39 Aa        | 199,91 Ac        | 174,14 Ad        | <b>3,58</b>   |
| <b>SPD</b>                | 118,46 Ca  | 90,51 Cb         | 65,47 Cc         | 43,20 Bd         | <b>5,37</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 190,04 Ba  | 154,21 Bb        | 137,03 Bc        | 29,45 Cd         | <b>6,33</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>2,06</b>  | <b>4,77</b>      | <b>8,70</b>      | <b>8,93</b>      | <b>-</b>      |
|                           | <b>Profundidade (m) / Pol/Ptl (%)</b>              |                  |                  |                  |               |
|                           | <b>0,00-0,10</b>                                   | <b>0,10-0,20</b> | <b>0,20-0,30</b> | <b>0,30-0,40</b> |               |
| <b>ILP</b>                | 36,85 Ba   | 29,88 Bb         | 28,95 Bb         | 20,60 Cc         | <b>2,09</b>   |
| <b>SPD</b>                | 80,39 Aa   | 72,22 Ab         | 69,91 Ab         | 60,63 Ac         | <b>3,91</b>   |
| <b>Cerradão</b>           | 26,56 Cb   | 14,38 Cc         | 11,69 Cd         | 31,14 Ba         | <b>2,64</b>   |
| <b>CV (%)</b>             | <b>3,84</b>  | <b>4,08</b>      | <b>2,11</b>      | <b>1,90</b>      | <b>-</b>      |

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas iguais nas linhas, em cada sistema, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade; SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja. CV=coeficiente de variação.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Entre as áreas cultivadas, os maiores valores encontrados na área de ILP podem ser decorrentes, além das adubações realizadas (Tabela 2), da presença da braquiária, pois esta forrageira propicia maior ciclagem de fósforo das camadas mais profundas para as camadas mais superficiais e, também, o seu sistema radicular propicia uma maior quantidade de ácidos fenólicos para a matéria orgânica do solo (SIQUEIRA et al., 1991), que competem com os sítios de adsorção de P, sendo verificado correlação negativa entre o Pil e a argila ( $r=-0,67$ ). Assim, tem-se aumento da disponibilidade de formas mais lábeis do P e, segundo Merlin, Rosolem e Bull (2009), a braquiária pode solubilizar formas não lábeis de P, tornando-se uma ferramenta importante no manejo da adubação fosfatada em sistemas com rotação de

culturas. Na área de SPD, a ausência de braquiária e os maiores teores e estoques de Mg (LOSS et al., 2012c) podem estar desfavorecendo a eficiência do extrator (bicarbonato de sódio), visto que houve uma alta correlação negativa entre o Mg e o Pil ( $r=-0,85$ , Tabela 5).

Em profundidade, verificou-se diminuição dos valores conforme aumentava a profundidade nas áreas de SPD e Cerradão. Na área de ILP, verificaram-se maiores valores de Pil nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sendo os menores valores observados na camada superficial do solo (Tabela 7). Essas diferenças encontradas na área de ILP podem ser decorrentes da rotação de culturas, com o uso da braquiária para produção de palhada e também para pastejo de animais nesta área,

modificando os caminhos dos fluxos de nutrientes e acarretando em uma melhoria da biota e fertilidade do solo em profundidade (ANGHINONI et al., 2011; LOSS et al., 2012c). Assim também tem-se aumentos das formas de P lábil em profundidade.

Para a fração Pol, verificou-se predomínio dessa fração na área de SPD para as camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo observado maiores valores na área de ILP para as demais camadas. A área de Cerradão apresentou os menores valores dessa fração (Tabela 7). A fração Pol, dentre todas as demais frações de P (Tabelas 5, 6 e 7) foi a fração que mais se correlacionou com os atributos químicos e mineralógicos, não sendo verificado correlação apenas com o COT, argila e C-HUM (Tabela 5). Dessa forma, os teores de Pol encontrados nas áreas cultivadas estão associadas tanto às frações da MOS (Tabela 1) quanto a adubação utilizada (Tabela 2).

Diferindo da fração Pol, para o Ptl não foram verificadas correlações com os atributos edáficos (Tabela 5). Os maiores valores de Ptl foram encontrados na área de ILP, seguidos da área de Cerradão. Este padrão pode ser decorrente das adubações realizadas na área de ILP (Tabela 2) e dos óxidos de Fe e Al no Cerradão.

Para a relação Pol/Ptl, verificou-se predomínio de maiores valores na área de SPD, o que é decorrente dos maiores teores da fração Pol nesta área. E, em relação a correlação de Pol/Ptl com os atributos químicos e mineralógicos, verificou-se predomínio de correlações com os elementos oriundos da fertilidade do solo, com destaque para o maior valor de correlação para Mg ( $r=0,91$ ). Este padrão indica que os maiores valores da relação Pol/Ptl na área de SPD estão associados aos maiores estoques de Mg nesta área (LOSS et al., 2012c), assim como, padrão contrário foi observado na área de Cerradão, com valores intermediários para a área de ILP.

#### *Teores de fósforo remanescente no solo*

A área de Cerradão apresentou os menores teores de Prem nas camadas de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m, sendo verificados para a camada de 0,10-0,20 m, maiores teores de Prem na área de Cerradão. Entre as áreas cultivadas, a área com ILP apresentou maiores teores de Prem (0,00-0,10 m) quando comparada com a área de SPD, sem pastejo. Na camada de 0,30-0,40 m, este padrão foi observado para a área de SPD (Tabela 8).

**Tabela 8.** Teores de fósforo remanescente (Prem) nas diferentes profundidades e sistemas de uso do solo, em Montividiu- GO.

| Sistemas avaliados | Profundidade (m) |           |           |           |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 0,00-0,10        | 0,10-0,20 | 0,20-0,30 | 0,30-0,40 |
| ILP                | 15,09 Aa         | 9,26 Bb   | 8,81 Ab   | 7,22 Bb   |
| SPD                | 13,07 Ba         | 8,14 Bb   | 8,49 ABb  | 9,46 Ab   |
| Cerrado            | 10,62 Ca         | 11,15 Aa  | 7,35 Bb   | 7,94 ABb  |

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas, em cada sistema, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. SPD= girassol/milheto/soja/milho; ILP= milho+braquiária/feijão/algodão/soja.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Os maiores teores de Prem nas áreas cultivadas (0,00-0,10 m) podem ser decorrentes da liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, devido à utilização da rotação de culturas, tendo-se maior diversidade vegetal nestas áreas (gramíneas

e leguminosas) quando comparadas com a área de Cerradão, o que culmina em diferentes aportes de massa seca (Tabela 3). No Cerradão, apesar de possuir maior teor de COT (BEZERRA et al., 2013), tem-se um aporte de material vegetal mais

lignificado, oriundo principalmente de folhas e galhos das árvores. A decomposição deste material, provavelmente, deve liberar menores quantidades de ácidos orgânicos de baixo peso molecular.

Segundo Franchini et al. (1999, 2003), a utilização de adubos verdes como plantas de coberturas pode liberar, por meio da decomposição dos resíduos vegetais, os ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Estes por sua vez, podem bloquear sítios de adsorção do fosfato (TIRLONI et al., 2009), consequentemente, tem-se maiores teores de Prem nas áreas cultivadas em detrimento da área de Cerrado natural.

Na profundidade de 0,00-0,10 m, os maiores teores de Prem na área de ILP podem ser decorrentes da associação da braquiária com a rotação de culturas, aliado ao pastejo animal, o que acarreta em maiores aportes de massa seca (Tabela 3) e, consequentemente, maiores teores de COT e ácidos orgânicos, como os ácidos húmicos e fúlvicos e também a fração humina (BEZERRA et al., 2013). Esse padrão pode ser confirmado pela correlação que ocorreu com Prem e somente com o COT, C-FAH, C-FAF e C-HUM (Tabela 5). Nesta área (ILP) também foi encontrado os maiores estoques de P (Melich-1) (LOSS et al., 2012c).

Os resultados deste estudo são semelhantes aos observados por Fontana et al. (2008). Estes autores avaliaram os teores de Prem e sua correlação com as frações da MOS em Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes sucessões de cultura em SPD no Cerrado. Esses autores verificaram que os sistemas de manejo sob SPD com sucessão soja/aveia com ou sem braquiária influenciaram para a redução da adsorção/precipitação de fósforo, principalmente pelo efeito das substâncias húmicas mais estáveis como ácidos húmicos e a humina.

Em outro estudo desenvolvido por Loss (2011) nessas mesmas áreas de estudo, avaliando a quantidade de massa e os teores de C da matéria orgânica leve (C-MOL), esses autores verificaram

que a área de ILP apresentou maiores valores de massa e teores de C-MOL que a área de SPD e valores iguais aos da área de Cerradão (0,00-0,10 m). Estes resultados indicam que a MOL também está acarretando em maiores teores de Prem na área de ILP. Esse padrão é confirmado por Pereira et al. (2010), onde os autores avaliaram os teores de Prem em áreas de SPD com soja plantada sobre os resíduos de crotalária, braquiária e milheto em Latossolo Vermelho localizado no Cerrado (MG). Os autores verificaram que os teores de Prem apresentaram alta correlação com os teores de MOL.

Em relação aos teores de Prem em profundidade, verificou-se que independente do sistema avaliado, os teores de Prem diminuíram de acordo com o aumento da profundidade. Esse padrão é decorrente da diminuição dos teores de MOS, demonstrando a influência desta para bloquear os sítios de adsorção de fosfato. Os maiores teores de P-rem para a área de Cerradão (0,10-0,20 m) e SPD (0,30-0,40 m) podem ser decorrentes destas áreas apresentarem, respectivamente, os maiores teores de C-HUM e C-FAH (BEZERRA et al., 2013), pois estas frações mais estáveis da MOS são eficientes para ocasionar a redução da adsorção dos fosfatos (FONTANA et al., 2008).

## Conclusões

O sistema de ILP, devido ao maior aporte vegetal oriundo da braquiária, aos dejetos bovinos deixados aleatoriamente na área e as adubações realizadas, acarreta na maior disponibilização das frações de Pi e Po quando comparado ao SPD, sem pastejo e braquiária, no Cerrado goiano.

Os resultados deste estudo indicam que os sistemas de uso do solo alteram o ciclo biogeoquímico do P, fazendo com que as formas mais disponíveis sejam favorecidas nas camadas superficiais e nos sistemas que aumentam a MOS, com ênfase no sistema de ILP que aumenta as frações de P na camada de 0,00-0,10 m em comparação ao SPD.

Por meio das correlações efetuadas, infere-se que a disponibilização do  $\text{PiH}^+$  é dependente da fração argila e atributos químicos; o  $\text{PoH}^+$  é dependente dos óxidos de ferro e das frações da MOS; o  $\text{PiOH}^-$  mostrou-se dependente dos óxidos de ferro, do C-FAF e P, enquanto o  $\text{PoOH}^-$  relacionou-se com o C-FAH e o Mg, Al e K. O  $\text{PiL}$  está relacionada a fração argila e atributos químicos; enquanto o  $\text{PoL}$ , aos óxidos de ferro, ao C-FAF e C-FAH e atributos químicos. O Prem é dependente exclusivamente das frações da MOS.

## Agradecimentos

À Fundação Agrisus e à CAPES pelo apoio financeiro. Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da UFRRJ pelo auxílio prestado e ao Instituto Federal de Educação Tecnológica Goiano pelo auxílio na coleta das amostras de terra.

## Referências

ALVAREZ, V. V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios de casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 14, n. 1, p. 49-55, 1990.

ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. *Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto*. Ponta Grossa: AEACG/Inpag, 2011. p. 1-31.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado, Goiás. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2637-2654, 2013.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic

phosphorus. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 53, n. 2, p. 362-366, 1989.

BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, Baltimore, v. 125, n. 2, p. 95-101, 1978.

BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (Ed.) *Carbon Sequestration in Soils of Latin America*. New York: Food Products Press, 2006. p. 285-304.

BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; REZENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 655-671, 2012.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010.

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

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA, N. M.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e  $\delta^{13}\text{C}$  em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 1241-1252, 2011.

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, n. 3/4, p. 197-214, 1995.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 100, n. 4, p. 10-14, 2007.

DUDA, G. P. *Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo*. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.



- EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERNÁNDEZ, R. I. E.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. I – Alterações químicas e mineralógicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 2307-2318, 2008.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Fósforo remanescente e correlação com as frações da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 14, n. 1, p. 159-164, 2008.
- FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 34, n. 13, p. 2045-2058, 2003.
- FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 533-542, 1999.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1085-1091, 2008.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.
- GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SCHIMITT, D. E.; TIECHER, T.; BENDER, M. A.; RHEINHEIMER, D. S.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Ithaca, v. 93, n. 2, p. 215-225, 2012.
- GUERRA, J. G. M. *Produção sazonal de Brachiaria decumbens Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural*. 1993. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.
- GUERTAL, E. A.; ECKERT, D. J.; TRAINA, S. J.; LOGAN, T. J. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 55, n. 2, p. 410-413, 1991.
- GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v. 43, n. 2, p. 189-202, 2005.
- HENG, L. C. Influence of some humic substances on P-sorption in some Malaysian soils under rubber. *Journal of Natural Rubber Research*, Malaysia, v. 4, n. 3, p. 186-194, 1989.
- JONES, D. L.; DENNIS, P. G.; OWEN, A. G.; van HEES, P. A. W. Organic acid behavior in soils – Misconceptions and knowledge gaps. *Plant Soil*, Dordrecht, v. 248, n. 1-2, p. 31-41, 2003.
- LOSS, A. *Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano*. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. *Semina. Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2153-2168, 2013.
- \_\_\_\_\_. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias*, Manaus, v. 55, n. 4, p. 260-268, 2012c.

- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. *Soil Research*, Melbourne, v. 50, n. 5, p. 685-693, 2012b.
- MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 625-632, 2006.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Ottawa, v. 7, n. 3, p. 317-27, 1960.
- MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A.; BULL, J. C. Soil phosphorus forms after brachiaria. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 16., 2009, Sacramento, Davis. *Proceedings...* Davis: Department of Plant Sciences, 2009. Available at: <<http://escholarship.org/uc/item/6rf8j1tz>>. Accessed at: 01 jul. 2014.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, Liverpool, v. 27, n. 1, p. 31-36, 1962.
- NOGUEIRA, S. R.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistema agroflorestais no município de Sobral-CE. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 494-502, 2008.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; BARROS, N. F. A natureza não tem palito de fósforo: queima rápida ou mineralização lenta (nem sempre tão lenta) de resíduos florestais. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 24-26, 1998.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- PAVINATO, P. S.; DAO, T.; ROSOLEM, C. A. Tillage and phosphorus management effects on enzyme-labile bioactive phosphorus availability in Cerrado Oxisols. *Geoderma*, Amsterdam, v. 156, n. 3-4, p. 207-215, 2010.
- PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 149-155, 2009.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 5, p. 1-6, 2010.
- RESENDE, J. C. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D.; KLINK, C. A.; DAVIDSON, E. A. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 105, n. 1-3, p. 105-118, 2011.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mitammoniumoxalat-lösung. *Zeitschrift Fur Pflanzenernährung Und Bodenkunde*, Weinheim, v. 105, n. 1, p. 194-202, 1964.
- SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 38, p. 1197-1207, 2003.
- SIQUEIRA, J. O.; MURALEEDHARAN, G.; NAIR, R. H.; GENE, R.; SAFIR, A. R. P. Significance of phenolic compounds in plant soil microbial systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.

- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos do solo com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 4, p. 1-20, 2008.
- SOUZA JÚNIOR, R. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; FREIRE, F. J.; ARRUDA, J. A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 159-170, 2012.
- STEVENSON, F. J. *Humus chemistry*. New York: John Willey Sons, 1994. 496 p.
- TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D. S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 4, p. 977-984, 2009.
- TOKURA, A. M.; FURTINI A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 1, p. 171-179, 2011.
- TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa. Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 7, n. 10, p. 1467-1476, 2002.
- WILLIAMS, J. D. H.; MAYER, T.; NRIAGU, J. O. Extractability of phosphorus minerals common in soils and sediments. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 44, n. 3, p. 462-465, 1980.
- 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, n. 2, p. 485-493, 1997.