

AMANDA ZOLET RIGO

**FRAÇÕES DE FÓSFORO E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO E
PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA EM RESPOSTA A ADUBOS ORGÂNICOS E MINERAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa
Catarina - UDESC, como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof^o Álvaro Luiz Mafra

Co-orientador: Dr. Juliano Corulli Corrêa

LAGES, SC

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

Zolet Rigo, Amanda
FRAÇÕES DE FÓSFORO E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO E
PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM SISTEMA INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA EM RESPOSTA A ADUBOS ORGÂNICOS E
MINERAIS / Amanda Zolet Rigo. - Lages , 2017.
75 p.

Orientador: Álvaro Luiz Mafra
Co-orientador: Juliano Corulli Corrêa
Co-orientador: Luciano Colpo Gatiboni
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo, Lages, 2017.

1. Dejeito de suínos. 2. Cama de aves. 3. frações
húmicas. I. Luiz Mafra, Álvaro . II. Corulli
Corrêa, Juliano. Colpo Gatiboni, Luciano. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência Do Solo. IV. Título.

AMANDA ZOLET RIGO

**FRAÇÕES DE FÓSFORO E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO E
PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA EM RESPOSTA A ADUBOS ORGÂNICOS E MINERAIS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Banca examinadora

Orientador: _____

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Dr. Otávio dos Anjos Leal
Julich Reserarch Centre - Alemanha (CAPES/ Alexander von Humboldt)

Membro: _____

Dr. Djalma Eugênio Schmitt
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 17 de agosto de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que sempre me incentivou a buscar estudo e conhecimento, sem ajuda deles os obstáculos teriam sido ainda maiores.

Ao meu noivo Jefferson que sempre me apoia, incentiva, me acalma nos momentos de dificuldade e ajuda para que essa conquista fosse concretizada.

Ao professor orientador Álvaro Luiz Mafra, pela oportunidade de crescimento, ensinamentos, confiança, orientação e amizade.

À minha amiga Vitória Rossetto, pelos bons momentos convividos durante esse período em Lages.

Ao IFC em nome do Dr. Paulo Hentz por disponibilizar o local para realização do experimento, pela oportunidade de poder trabalharmos juntos e por todo o auxílio durante a condução do projeto.

Ao Dr. Juliano Corulli Corrêa pela orientação, amizade, dedicação e confiança para realizar o estudo com a Embrapa Suínos e Aves.

A todos os pesquisadores e analistas da Embrapa Suínos e Aves que me ajudaram em diversas etapas do trabalho.

Ao meu amigo Marco por toda ajuda nos trabalhos de campo e laboratório.

A todos meus amigos que foram parceiros durante essa etapa da minha vida em especial a minha amiga Ana Paula Mori por seus ótimos conselhos e apoio.

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias CAV – UDESC pela oportunidade da realização do mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À Deus, que sempre me acompanha e guia meus caminhos.

A todos que contribuíram em algum momento nesta fase da minha vida.

RESUMO

O uso de fertilizantes orgânicos em sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP) pode afetar a dinâmica das frações de carbono e conferir novo equilíbrio para disponibilidade de P no solo, aumentando a produtividade das culturas. O objetivo do trabalho foi determinar as frações de fósforo e carbono orgânico e suas interações em sistema de produção iLP após seis anos de aplicação de fertilizantes orgânicos ou minerais. O experimento foi instalado em 2011 sendo conduzido em condição de campo em Nitossolo Vermelho Distroférico típico com delineamento em blocos casualizados no fatorial $5 \times 3 + 1$, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco fertilizantes sendo: três orgânicos (cama de aves, dejetos líquidos de suínos e composto) e dois minerais (M1/espelho dejetos e M2/espelho cama) em interação com doses crescentes de 75, 100 e 150% da recomendação para cultura de interesse e controle sem adubação. A amostragem do solo foi realizada nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, sendo avaliados pH em água, fracionamento químico de P e substâncias húmicas, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, produtividade de soja e milho, biomassa seca da parte aérea de aveia e teor de P do tecido vegetal. Durante os dois anos (2015-2017) do experimento o sistema iLP foi conduzido com as culturas de milho e soja no verão, e aveia preta no inverno, sendo a pastagem pastoreada por ovelhas. Aplicações sucessivas e com doses crescentes de fertilizantes minerais reduziram o valor de pH no solo até a profundidade de 0,20 m. A aplicação dos fertilizantes orgânicos (cama de aves, dejetos e composto) elevou o teor de COT, enquanto doses menores de fertilizante mineral (M1) promoveram a redução na camada superficial do solo. A adubação com fertilizantes orgânicos ou minerais elevou os teores de P em suas frações lábeis e moderadamente lábeis e com menor intensidade nas frações não lábeis. Entre as frações de C que apresentaram maior contribuição quanto à disponibilidade do P no sistema, vale destacar a humina e COT, que apresentaram respectivamente correlação com as frações lábeis de P e a não lábil; ácido húmico e ácido fúlvico, que foram relacionadas com o P lábil extraído por NaHCO_3 . A produtividade de grãos atingiu o maior valor para cultura do milho na recomendação de adubação de 150% para todos fertilizantes. Para a soja as maiores produtividades foram com M2 e dejetos na dose de 150% e 100% para composto, M1 e cama. A biomassa seca da parte aérea de aveia foi crescente independente dos fertilizantes aplicados. Todos os tratamentos, incluindo controle, demonstraram teor de P no tecido vegetal dentro da faixa de suficiência.

Palavras-chave: dejetos de suínos, cama de aves, frações húmicas.

ABSTRACT

Soil phosphorus and organic carbon fractions and crop yields under integrated crop-livestock system in response to organic and mineral fertilizers

Use of organic fertilizers in integrated crop-livestock (iCL) systems may affect soil carbon pools and cause a new equilibrium in soil P availability increasing crop yields. The objective of this study was to determine phosphorus and organic carbon fractions and their interactions in an iCL system after six years of application of organic or mineral fertilizers. The experiment was established in 2011 and it is carried out in field condition on a Rhodic Kandiodox in a randomized block design in $5 \times 3 + 1$ factorial scheme, with four replicates. The treatments consisted of five fertilizers: three organic (poultry litter, pig slurry and compost) and two minerals (M1/equivalent to pig slurry and M2/equivalent to poultry litter) in interaction with increasing rates of 75, 100 and 150% of the fertilizer recommendation for interest crop, and a control with no fertilizer. Soil sampling was performed in the 0,00-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m depths, to evaluate water pH, chemical fractionation of P and humic substances, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN), yield of soybean and mayze, dry biomass of the aerial part of oats and P content of the vegetal tissue. During the two years (2015-2017) of the experiment the iLP system was conducted with mayze and soybean crops in the summer, and black oats in the winter, with pasture being grazed by sheep. Successive applications and with increasing rates of mineral fertilizers reduced the pH value in the soil to a depth of 0.20 m. The application of organic fertilizers (poultry litter, pig slurry and compost) increased TOC content, while lower rates of mineral fertilizer (M1) reduced TOC in the soil surface layer. Fertilization with organic or mineral fertilizers increased the levels of P in their labile and moderately labile fractions and with less intensity in the non-labile fractions. Among the fractions of C that presented the greatest contribution to the availability of P in the system, it is worth mentioning the humin and TOC, that presented correlation respectively with the labile fractions of P and the non-labile fraction; humic acid and fulvic acid were related with the labile P extracted with NaHCO_3 . Crop grain yield was highest in maize with the fertilization recommendation of 150% for all fertilizers. The highest soybean yields were obtained under M2 and pig slurry in the rate 150% and 100% for compost, M1 and poultry litter. The oat shoot dry biomass was increasing independently of the applied fertilizers. All treatments, including control, showed P content in the plant tissue within the sufficiency range.

Keywords: pig slurry, poultry litter, humic fractions.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Precipitação (mm), temperaturas máxima (°C) e mínima (°C), registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2015-2017, Concórdia (SC).....28
- Figura 2 – Teor (g kg^{-1}) e proporção das frações de CO (%) após seis anos de aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....43
- Figura 3 – Teor das formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis de P (mg Kg^{-1}) e proporção das formas de P (%) após seis anos de aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....57
- Figura 4 – Produtividade de soja e milho (kg ha^{-1}) em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.62
- Figura 5 – Biomassa seca da parte aérea de aveia (kg ha^{-1}) após seis anos de aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....63
- Figura 6 – Teor de fósforo (g kg^{-1}) no tecido foliar de milho, aveia preta e soja resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química e física do Nitossolo Vermelho Distroférico típico, na camada de 0,00 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m.....	28
Tabela 2 – Aporte nutricional dos fertilizantes orgânicos no sistema iLP.....	30
Tabela 3 – Valores de pH-H ₂ O do solo nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	36
Tabela 4 – Teor de carbono orgânico na fração ácido húmico no solo (g kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	37
Tabela 5 – Teor de carbono orgânico na fração ácido fúlvico no solo (g kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	39
Tabela 6 – Teor de carbono orgânico da fração humina no solo (g kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	40
Tabela 7 – Teor de carbono orgânico total no solo (g kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	41
Tabela 8 – Teor de nitrogênio total (g kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	45
Tabela 9 – Relação C/N nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	47
Tabela 10 – Fração de fósforo lábil do solo extraído por resina troca iônica (mg kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	48
Tabela 11 – Fração de fósforo total lábil no solo extraído por NaHCO ₃ 0,5M (mg kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	50
Tabela 12 – Fração de fósforo total moderadamente lábil no solo extraído por NaOH 0,1M (mg kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	51
Tabela 13 – Fração de fósforo total moderadamente lábil no solo extraído por NaOH 0,5 M (mg kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	53
Tabela 14 – Fração de fósforo não lábil do solo extraído pela solução com HCl 1M (mg kg ⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	54

Tabela 15 – Fração de fósforo residual do solo (mg kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	55
Tabela 16 – Correlação de Pearson entre as frações de carbono e fósforo após seis anos de adubação com fertilizantes orgânicos e minerais em sistema iLP.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVO	19
1.1.1 Objetivos específicos.....	19
1.2 HIPÓTESES	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 CONTRIBUIÇÕES DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS PARA TEOR DE FÓSFORO E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO	20
2.2 CONTRIBUIÇÕES DO SISTEMA iLP PARA FÓSFORO E CARBONO NO SOLO....	22
2.3 FÓSFORO E CARBONO SUAS INTERAÇÕES NO SOLO.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	27
3.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE PLANTAS	31
3.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISES QUÍMICAS NO SOLO	32
3.3.1 Fracionamento químico de P	32
3.3.2 Fracionamento químico de substâncias húmicas.....	34
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 MODIFICAÇÕES NAS FRAÇÕES DE CARBONO, TEORES DE pH-H ₂ O, CARBONO ORGÂNICO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL E RELAÇÃO C/N	36
4.2 FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SOLO E CORRELAÇÃO COM CARBONO EM RAZÃO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS	48
4.3 PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA, BIOMASSA PARTE AÉREA DE AVEIA E TEOR DE FÓSFORO NO TECIDO VEGETAL	61
5 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE	75

1 INTRODUÇÃO

O uso eficiente de fertilizantes orgânicos no sistema de produção integração lavoura-pecuária (iLP) pode resultar em ganhos econômicos, ambientais, uma vez que é potencializada a diversidade do sistema integrado, onde se criam novas rotas de ciclagem de nutrientes e novos processos ecossistêmicos emergem (ANGHINONI et al., 2011).

Em regiões de alta concentração de suínos e aves como no sul do Brasil, seus resíduos são abundantes e o uso racional como fertilizante depende da quantidade de nutrientes que são adicionadas, principalmente fósforo (P), que subsidiará as recomendações agronômicas (SILVA et al., 2016). Além disso, devem ser observados os limites de nutrientes previstos na legislação ambiental (FATMA, 2016), que estabelece a quantidade máxima a ser aplicada, conforme a necessidade da cultura ou a dose máxima ambientalmente segura (GATIBONI et al., 2015).

Normalmente os fertilizantes orgânicos são aplicados na superfície do solo, sem incorporação, com ênfase para sistemas de produção sob plantio direto ou pastagens sendo poucos os estudos sobre adubação orgânica para iLP. Com isso, ao longo dos anos, observa-se incremento dos teores de P nas camadas superficiais do solo (CERETTA et al., 2010; GATIBONI et al., 2013), o que pode potencializar o transporte por escoamento na forma solúvel ou absorvido a partículas inorgânicas e orgânicas, com grande risco de contaminação das águas superficiais (CHIEN et al., 2011; GATIBONI et al., 2013).

Existem diversas metodologias que são testadas no Brasil para quantificar P no solo, mas o método mais utilizado para quantificar formas inorgânicas e orgânicas, foi desenvolvido por Hedley et al. (1982), o que permite compreender a dinâmica de P em solos sob diferentes usos, manejos de adubação e sistemas de cultivo. O fracionamento químico de P têm como pressuposto a extração sequencial em uma amostra de solo com uma série de reagentes ou soluções extratoras com seletividade para dissolver diferentes formas de P do solo, com base na natureza do composto fosfatado e da energia de ligação o que possibilita explicar a dinâmica de P (GATIBONI et al., 2013).

A adubação com fertilizantes orgânicos pode influenciar não somente a dinâmica de P às plantas, mas, outros aspectos químicos, pois estão presentes na matéria orgânica (MO) compostos como ácido húmico, ácido fúlvico, ácidos graxos, que competem pelos sítios de adsorção evitando a fixação de P aos sesquióxidos de Fe e Al do solo, liberando esse nutriente às plantas (MAFRA et al., 2014). Desta forma, a interação entre o fracionamento químico do P e carbono orgânico (CO) trará novos conhecimentos, que permitirão compreender

disponibilidade de P em suas diferentes frações compreendidas entre o P lábil e o P total do solo, quando forem utilizados fertilizantes orgânicos sob sistema de produção iLP, e desta forma contribuir para produtividade das culturas e qualidade ambiental.

Diante deste cenário este trabalho teve como objetivo determinar as frações de fósforo e carbono orgânico e suas interações em sistema de produção iLP após seis anos de aplicação de fertilizantes orgânicos ou minerais.

1.1 OBJETIVO

O objetivo foi determinar as frações de fósforo e carbono orgânico e suas interações em sistema de produção iLP após seis anos de aplicação de fertilizantes orgânicos ou minerais.

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar as frações de P no solo em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais sob sistema iLP.
- Determinar COT e CO das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais sob sistema iLP.
- Descrever a interação entre as diferentes frações de P e C no solo em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais sob sistema iLP.
- Quantificar teores nutricionais de P nas culturas de aveia preta, soja e milho.
- Avaliar a produtividade de grãos de soja e milho e biomassa seca de aveia preta em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais sob sistema iLP.

1.2 HIPÓTESES

A adubação com fertilizantes orgânicos em sistema de iLP promovem o aumento da matéria orgânica do solo que confere menor adsorção de P no solo, aumento na disponibilidade de P, na produtividade das plantas, novo equilíbrio nas frações de P no solo principalmente nas de maior labilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTRIBUIÇÕES DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS PARA TEOR DE FÓSFORO E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

Para que o uso de fertilizantes orgânicos ou minerais na agricultura brasileira seja sustentável e permita disponibilizar os nutrientes de forma eficiente ao sistema solo-planta sem que haja risco de poluição ambiental, principalmente pela eutrofização das águas é necessário utilizar de forma adequada os limites críticos de fósforo (P) no solo (GATIBONI et al., 2015), para obter os benefícios esperados nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e garantir maiores produtividades das culturas (MAFRA et al., 2014; GRAVE et al., 2015; HENTZ et al., 2016). Adota-se, assim, o conceito de que o uso eficiente de fertilizantes orgânicos promove sustentabilidade do sistema e não devem ser encarados unicamente pelo seu potencial poluidor do ambiente (LOURENZI et al., 2013).

O dejetos de suínos (DS) é um dos principais fertilizantes orgânicos disponíveis, promovendo a melhoria da fertilidade do solo e ainda o aumento do rendimento das culturas, com eficiência de liberação de 80% para o nitrogênio (N), 90% para P e 100% para potássio (K) (SILVA et al., 2016). No contexto do Sul do país, calcula-se que haja 2,6 vezes mais P contido nos esterco (1,08 milhões de toneladas) do que aplicado por meio de fertilizante mineral (0,42 milhões de toneladas) (SHIGAKI et al., 2006).

Para a suinocultura brasileira onde, aproximadamente 40 milhões de cabeças são abatidas anualmente (ABPA, 2017), se considera que cada animal produz em média 5 L dejetos dia⁻¹, e que a representação do valor médio para, P₂O₅ é de 3,29 g L⁻¹ (SILVA et al., 2016), espera-se que o valor estimado possa chegar a quantidades próximas de 78.960 t de P₂O₅. Existem 1,6 milhões de matrizes, considerando que cada animal produza 23 L dejetos dia⁻¹, espera-se que o valor estimado possa chegar a quantidades próximas de 43.586 t de P₂O₅, desta forma a suinocultura pode contribuir com 122.546 t de P₂O₅.

Alterações nos atributos químicos do solo após sucessivas aplicações de DS foram observadas por Lourenzi et al. (2011) com destaque para o aumento: nos valores de pH do solo até profundidade de 0,08 m, da saturação por bases, no teor de matéria orgânica (MO) em profundidade, e acúmulo de Ca e Mg trocáveis até 0,15 m de profundidade.

Na avicultura de corte estima-se no Brasil um total produzido de 6.310 milhões de aves abatidas anualmente (ABPA, 2017), o que geraria aproximadamente 12 milhões toneladas de cama. Supondo uma condição de cama de frango com seis lotes, contém 40 g kg⁻¹ de P₂O₅

(SIQUEIRA et al., 1987), haveria um aporte nacional de 480 mil t de P_2O_5 . O elevado potencial deste resíduo como fertilizante orgânico foi evidenciado por Corrêa et al. (2017). Quando aplicadas doses crescentes de cama de aves ao solo na forma farelada e peletizada, os autores observaram os teores de COT, N e P disponível na camada superficial (0,00 - 0,10 m) do solo, conferindo teores de N e P no tecido vegetal dentro da faixa de suficiência para cultura como milho em sistema de plantio direto (SPD). Já Scherer et al. (2010), não encontrou mesmos resultados após 15 a 25 anos de aplicações sucessivas de DS em sistema de plantio direto (SPD), observaram que o teor de COT no solo não foi alterado na condição de Neossolo Litólico, Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho, sendo justificado este comportamento devido ao DS apresentar baixo teor de matéria seca e CO.

O uso eficiente de fertilizantes orgânicos é uma alternativa para melhorar as qualidades físicas e químicas do solo, principalmente nas ligadas à estrutura do solo, entre elas pode-se destacar a melhoria na densidade do solo, resistência à penetração abaixo dos valores críticos e alta estabilidade de agregados (RAUBER et al., 2012). Por esta razão, deve ser mantido práticas para favorecer os teores adequados de COT, assegurando a qualidade química, física e biológica do solo (MAFRA et al., 2014).

O uso racional de fertilizantes orgânicos seguindo recomendações de adubação (SILVA et al., 2016) e observando os limites de nutrientes previstos na legislação ambiental (FATMA, 2016), que estabelece a quantidade máxima a ser aplicada, conforme necessidade da cultura ou a dose máxima ambientalmente segura (GATIBONI et al., 2015).

Normalmente quando aplicados respeitando estas recomendações, proporciona incremento na MO do solo (LOURENZI et al., 2011; MAFRA et al., 2015), que durante sua decomposição gera vários compostos orgânicos, que podem promover algumas vantagens em relação às fontes minerais, como: favorecer a disponibilidade à planta pela redução na adsorção de P no solo (PARENT et al., 2003), aumentando formas lábeis de P e reduzindo as não lábeis (KHIARI e PARENT, 2005), condição que confere novo equilíbrio para disponibilidade de P no solo.

O uso de fertilizantes orgânicos durante 111 anos mostrou-se ser um componente importante para sistemas agrícolas sustentáveis, afetando a dinâmica das formas de P (MOTAVALLI e MILES, 2002). As aplicações promoveram o aumento nas formas de P orgânico (P_o), devido ao aumento da atividade microbiana na decomposição da MO do solo, assim como aumento das formas inorgânicas (P_i) devido ao elevado teor de P_i nos dejetos (GUARDINI et al., 2012), conseqüentemente o P total do solo.

O mesmo foi observado quando sucessivas aplicações de fertilizantes orgânicos ou minerais em uma mesma área, provocaram o acúmulo de P nas camadas superficiais do solo principalmente em solos sob plantio direto (GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2013), assim como movimentação no perfil do solo (GATIBONI et al., 2015). Cassol et al. (2012) observaram que com aplicação de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos houve o aumento do teor de P disponível nas camadas subsuperficiais, até 0,40 m, evidenciando a transferência do elemento em profundidade em Latossolo Vermelho.

O P quando aplicado ao solo via fertilizantes é adsorvido com alta energia de ligação aos minerais do solo, mas após longos períodos ocorre a redução dos sítios mais ávidos, consequentemente o íon fosfato é adsorvido a sítios de menor energia de ligação, provocando o acúmulo de P nas frações lábeis e moderadamente lábeis, principalmente nas camadas superficiais do solo (GATIBONI et al., 2008; GUARDINI et al., 2012).

2.2 CONTRIBUIÇÕES DO SISTEMA iLP PARA FÓSFORO E CARBONO NO SOLO

O sistema de produção iLP pode contribuir para o desenvolvimento do setor agrícola. Assim, para aumentar a produtividade das culturas neste sistema se faz necessário utilizar critérios de adubação capazes de atender a elevada necessidade nutricional imposta pela alta exportação dos nutrientes, visando também manter ou construir a fertilidade do solo (RESENDE et al., 2012). Para alcançar esse objetivo é necessário o uso de práticas agrícolas com tecnologias capazes de garantir a eficiência do aproveitamento de nutrientes pelas plantas após aplicação dos fertilizantes no solo (FANCELLI, 2010).

Assim, a adubação no sistema de produção iLP destaca-se pela grande interferência na fertilidade do solo, o que pode trazer também alta resposta em termos de ganhos econômicos e ambientais, uma vez que a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade do sistema integrado, onde se criam novas rotas de ciclagem de nutrientes e novos processos ecossistêmicos emergem (ANGHINONI et al., 2011).

Os sistemas de produção iLP apresentam vantagens em relação aos sistemas convencionais, principalmente por ter maior potencial para ser dreno de C atmosférico e aliado a adubação orgânica favorecem o acúmulo de MO do solo (NICOLOSO et al., 2008). Estes benefícios são proporcionados pela superior produção de resíduos vegetais provenientes tanto das culturas como das pastagens (SOUZA et al., 2010; LOSS et al., 2012), tanto na superfície como no perfil do solo pelas raízes (ANGHINONI et al., 2011). E pode ser intensificado em solos alto teor de argila, pois permitem estocar mais C (SIX et al., 2002).

Outro aspecto importante em sistemas iLP é melhorar a produtividade das pastagens, através da adubação buscando elevar o rendimento forrageiro, valor nutritivo e capacidade de suporte com animais. Desta forma é possível que os fertilizantes orgânicos possam potencializar ainda mais os benefícios já existentes no sistema iLP, como o aumento na disponibilidade de K e P com pequenas alterações para N total (HENTZ et al., 2016).

Em razão do sistema iLP incluir diferentes plantas de cobertura, uso de fertilizantes e estimular a atividade microbiana, estes fatores podem afetar as frações de P no solo e aumentar sua disponibilidade às plantas (BROUWERE et al., 2003; MCDOWELL e STEWART, 2006). A adição de P por adubações orgânicas ou minerais em sistemas de produção de pastagem é economicamente viável, tanto no estabelecimento, como na manutenção das forrageiras. Vale ressaltar que o P é conservado no sistema e pode haver aumento na sua disponibilidade às plantas (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Após dois anos de instalação de sistema de produção iLP com aplicações crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais, observou-se relação direta com teor de P disponível, o que foi justificado em razão do aporte de 121, 242 e 363 kg ha⁻¹ de P na forma de cama e 49, 98 e 196 kg ha⁻¹ de P na forma de DS no ano de 2011 e 251, 502, 753 kg ha⁻¹ de P na forma de cama e 55, 110 e 165 kg ha⁻¹ de P na forma de DS no ano de 2012, com a mesma ordem de grandeza entre os fertilizantes minerais (HENTZ et al., 2016).

2.3 FÓSFORO E CARBONO SUAS INTERAÇÕES NO SOLO

O P é um nutriente essencial para as plantas, principalmente em sistemas integrados de produção em que a exigência nutricional é maior, sendo necessário a quantificação de suas formas para compreensão da dinâmica de P no solo.

As plantas podem absorver formas de P além dos ortofosfatos (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{3-}) presentes na solução do solo como: pirofosfato, polifosfato (TURNER et al., 2003), fosfoesteres; moléculas de produtos da degradação microbiana, vegetal ou da própria MO recalcitrante do solo (BRICENO et al., 2004).

Desta forma, práticas agrícolas que contribuem para melhorar a eficiência de microrganismos no solo irão influenciar na liberação dos ortofosfatos a partir de compostos orgânicos, condição esta que permite aumentar o P disponível no solo (RAO et al., 2000) e para as plantas dentro da faixa de suficiência considerada adequadas para as culturas (RAIJ et al., 2001), o que permite expressar os potenciais genéticos de produção.

No solo o P pode ser encontrado nas formas inorgânicas e orgânicas, as formas inorgânicas (Pi) que compreende o íon fosfato na solução do solo, P estrutural dos minerais primários, todas as formas precipitadas e adsorvidas à oxihidróxidos de Fe e Al ou adsorvidas aos coloides do solo. Já as formas orgânicas (Po) compreendem o P da estrutura dos compostos orgânicos e o P da estrutura ou adsorvido aos resíduos orgânicos e MO do solo (GATIBONI et al. 2013).

O método mais utilizado para quantificar formas inorgânicas e orgânicas foi desenvolvido por Hedley et al. (1982), o que permite compreender a dinâmica das frações de P em solos sob diferentes usos, manejos de adubação e sistemas de cultivo. O fracionamento químico de P têm como pressuposto a extração sequencial em uma amostra de solo com uma série de reagentes ou soluções extratoras com seletividade para dissolver diferentes formas de P do solo, com base na natureza do composto fosfatado e da energia de ligação o que possibilita explicar a dinâmica de P (GATIBONI et al., 2013).

De uma maneira geral, o fracionamento químico de P, assume-se que a resina trocadora de ânions e NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} (M) extrai formas lábeis de P. Ao NaOH 0,1 M é atribuído o poder de extrair o P quimiosorvido a óxidos de Al e Fe, o qual é moderadamente lábil. A extração com NaOH 0,5 M obtém P quimicamente e fisicamente protegido nas superfícies internas dos microagregados. Já o extrator com HCl extrai P contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido, o qual é não lábil, e, finalmente, a digestão do solo com H_2SO_4 e H_2O_2 extrai o P residual do solo, chamado também de fósforo recalcitrante (CROSS E SCHLESINGER, 1995; REBELLATTO, 2013).

Apesar de sua larga distribuição na natureza, o P é considerado um recurso limitado e deficiente na maioria dos solos, e suas formas são arbitrárias em função do tipo de solo, cultivo, clima e teor de MO (NOVAIS e SMYTH, 1999). Desta forma, torna-se necessário adotar o uso de práticas agrícolas que favorecem a incorporação de resíduos orgânicos ao solo e aumentem a disponibilidade de P para sistema solo-planta.

Após quatro anos de aplicação de DS ao solo, observa-se acúmulo de P nas frações lábeis extraídas por resina trocadora de ânions e NaHCO_3 0,5 M, e moderadamente lábeis NaOH 0,1 M e NaOH 0,5 M, enquanto a fração de P residual não sofre alterações (GATIBONI et al., 2008). Mas quando aplicado DS durante sete anos em um Argissolo Vermelho arenoso observou-se o aumento no teor de P até 0,25 m de profundidade, tanto nas formas orgânicas como inorgânicas de P (CERRETA et al., 2010).

Avaliando as frações de P em resposta a adubação com resíduos orgânicos e minerais por oito anos em um Argissolo típico, Couto et al. (2017) observaram que as aplicações

promoveram aumento das frações inorgânicas e orgânicas de P extraídas por resina, NaHCO_3 0,5 M, NaOH 0,1 e 0,5 M, HCl e P residual até 0,04 m, com declínio nos teores em profundidade. Assim como ambas as fontes de fertilizantes foram efetivas em acumular P-NaOH 0,5 M, fração que está fisicamente protegida nos microagregados do solo (GUARDINI et al., 2012).

Assim como os fertilizantes promovem o acúmulo de P no solo, o mesmo é observado para MOS e está influenciando a distribuição das formas de P_o e P_i , onde os processos químicos envolvidos são relacionados ao bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al, principalmente por compostos carboxílicos e fenólicos presentes na MO, que reduzem a adsorção de P (GATIBONI et al., 2013), também competem com os sítios de adsorção da fração mineral e deslocando o P adsorvido pelos minerais do solo (ANDRADE et al., 2003).

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a MO tem grande importância para o fornecimento de P e outros nutrientes para as culturas (BAYER e MIELNICZUK, 1999), é constituída de diferentes compostos orgânicos em vários estágios de decomposição, que podem ser agrupados em substâncias húmicas (SH) e não húmicas.

As substâncias não húmicas são constituídas por componentes orgânicos, tais como, aminoácidos, ligninas, celuloses, hemiceluloses, taninos, proteínas, carboidratos e ácidos orgânicos de baixa massa molar. As SH são constituídas por moléculas complexas, de alto peso molecular, e fórmulas indefinidas apresentam coloração escura, suas frações químicas são ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HUM), que são separados em função de sua solubilidade ácido-base, a diferentes valores de pH (ERNANI, 2016).

A avaliação das SH colabora no entendimento da melhoria das propriedades físicas do solo, das interações organo-minerais, da diminuição da fixação de P (BENITES, 2003), e apresentam representatividade em torno de 85% a 90% do COT do solo (GUERRA et al., 2008).

Os AF são compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular e são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os AH são os compostos que apresentam pouca solubilidade em meio ácido, e são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais. Já a HUM é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais representa boa parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003). É importante ressaltar que AF podem sofrer rápida transformação conduzido a formar AH em moléculas menores como proteína ou aminoácidos de rápida degradação ou absorção pelas plantas (STEVENSON, 1994).

Após adubação com fertilizante orgânico de DS acidificado e não acidificado observou-se a manutenção da concentração de CO no solo, com modificações na distribuição das frações húmicas, onde a adição de DS acidificado resultou na formação de AH com maior conteúdo aromático e menores grupos funcionais do que o DS não acidificado, indicando a presença AH mais estáveis no solo tratado com DS acidificado (LÜDTKE et al., 2016). Após sucessivos anos de cultivo de soja e milho observou-se o aumento do AH e a redução do AF na camada de 0,00 – 0,20 m, indicando perda de AF pela mineralização ou transformação deste composto (CAETANO et al., 2013).

O fracionamento químico das SH é eficiente em identificar além dos efeitos do manejo de adubação com fertilizantes orgânicos e mineiras as diferenças provenientes dos diferentes sistemas de uso do solo. Em estudo avaliando diferentes tempos de adoção de SPD e tipos de cultivos em Nitossolo Vermelho Eutroférico típico observou-se predomínio da fração HUM e movimentação de AH e AF na camada de 0,00 – 0,40 m de profundidade (ROSSET et al., 2016), assim como maiores teores de AH, AF e HUM foram encontrados em área com sistema de produção iLP em comparação ao SPD nas camadas de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m (BEZERRA et al., 2013), o que pode ser justificado pela maior concentração radicular e posterior deposição da parte aérea deste sistema de produção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

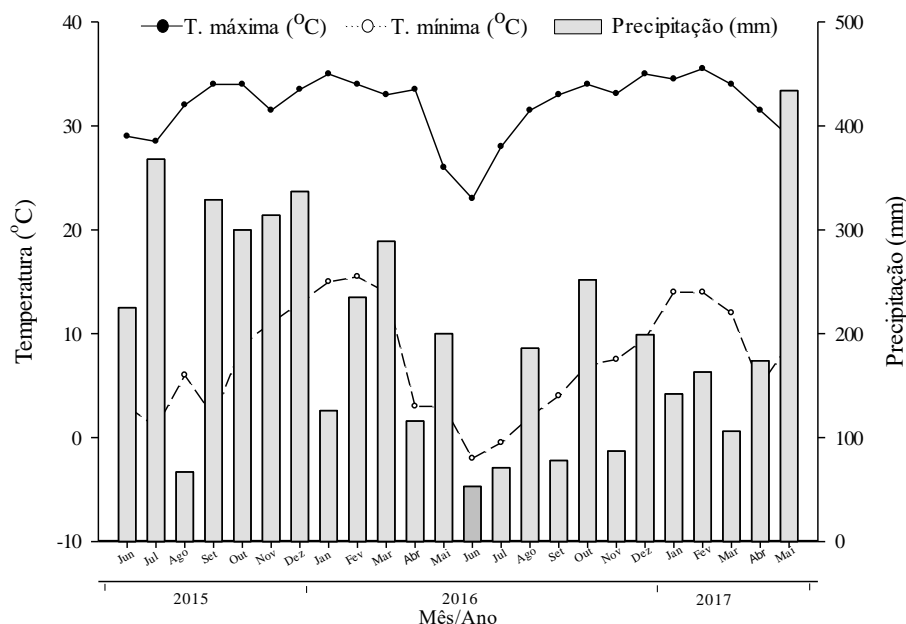
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi instalado em 2011, sendo implantado no Instituto Federal Catarinense (IFC), Campus Concórdia, SC, com as seguintes coordenadas geográficas, latitude 27° 12' 0,08" S e longitude 52° 4' 58,22" O.

O clima da região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen, com temperatura média máxima de 26°C no mês mais quente (janeiro) e média mínima de 12°C no mês mais frio (julho). As chuvas são regulares e bem distribuídas, sem deficiência hídrica e com precipitações pluviais totais anuais acima de 1.500 mm e altitude de 569 m acima do nível do mar. O relevo predominante é ondulado a suave ondulado.

Os dados mensais referentes às temperaturas máxima, mínima e precipitação pluvial durante os dois anos (2015-2017) de condução do experimento, foram coletados na Estação Meteorológica da Embrapa Suínos e Aves e estão contidos na (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação (mm), temperaturas máxima (°C) e mínima (°C), registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2015-2017, Concórdia (SC).



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O sistema de produção adotado foi integração lavoura-pecuária (iLP) sendo conduzido durante as safras 2015-2017 com culturas de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) durante o

verão; e aveia preta (*Avena strigosa*) durante o inverno, neste caso destinada ao pastejo por ovelhas, manejadas com uso de cerca elétrica.

Na instalação do experimento (2011) foi feita dessecação das plantas de cobertura com aplicação do herbicida glifosato (2.160 g ha⁻¹ de i.a.) para posterior semeadura da cultura. Esta prática agrícola foi repetida a cada safra aos 14 dias antes da semeadura das culturas de inverno e de verão.

O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). Para determinação de N, Cu, K, Mg, Ca, H+Al, P, Zn, CO e pH-(H₂O 1:1) foi analisado de acordo com metodologia descrita em Tedesco et al. (1995), e argila segundo metodologia descrita por Claessen (1997) cujas características químicas e físicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física do Nitossolo Vermelho Distroférico típico, na camada de 0,00 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m.

Atributos	Camadas		
	0,00 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m
N (g kg ⁻¹)	1,9	1,7	1,5
Cu (mg kg ⁻¹)	4,7	5,5	4,4
K (mg kg ⁻¹)	590	406	346
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	4,8	4,0	4,2
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	8,4	6,7	9,5
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	5,7	6,0	5,8
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	20,5	17,8	20,5
V (%)	72	66	72
P (mg kg ⁻¹)	100	80	70
Zn (mg kg ⁻¹)	5,1	4,4	3,6
CO. (g kg ⁻¹)	18	17	17
pH (H ₂ O 1:1)	5,8	5,6	5,5
Argila (g kg ⁻¹)	680	680	700

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Antes da implantação do experimento a área era manejada com lavoura de milho no verão e cobertura vegetal com aveia preta e nabo no inverno no período de 1994 até 2011. Durante este período foram realizadas duas calagens usando 5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, bem como adubações orgânicas com dejetos líquidos de suínos com 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, seguindo instrução normativa do órgão estadual de meio ambiente de Santa Catarina (FATMA), além da adubação mineral conforme a necessidade da cultura definida pela análise de solo e produtividade de grãos.

Esta pesquisa foi conduzida a campo entre 2015 a 2017, com delineamento em blocos casualizados, em fatorial $5 \times 3 + 1$, com quatro repetições. Os tratamentos consistem de cinco fertilizantes sendo: três orgânicos a base de cama de aves (Cama), dejetos líquidos de suínos (Dejeto) e um composto a partir de dejetos de suínos (Composto); e dois minerais (M1 e M2), combinados com três doses, equivalentes a 75, 100 e 150% da recomendação para cultura de interesse, com base no elemento com maior exigência pela cultura e o tratamento controle (sem adubação). Sendo K para soja e N para milho os elementos com maior exigência pela cultura. As unidades experimentais foram formadas por parcelas de 5×5 m (25 m^2), distantes 2,5 m entre blocos.

A aplicação dos fertilizantes foi realizada em superfície ao lado da linha de semeadura, sendo realizada na cultura de verão. O dejetos suíno (DS) e a cama de aves foram provenientes do sistema de criação do IFC, Campus Concórdia. O dejetos foi oriundo de animais que permanecem alojados em sistema de piso compacto desde o nascimento até o abate com peso vivo médio de 120 kg e idade média de 145 dias. A cama de aves foi proveniente da criação de aves de corte com 5 a 6 lotes de produção.

O fertilizante composto com DS foi constituído a partir da aplicação de 8 a 12 litros de dejetos (com teores entre 4 a 6% de matéria seca) para cada 1 kg de substrato formado pela mistura de maravalha e serragem, em leira de 1 m de altura, 3 m de largura e 20 m de comprimento. O processo de impregnação foi realizado a cada semana, com revolvimento apenas em caso de haver elevação da temperatura no interior da leira acima de $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Essa operação foi realizada de forma automática até o momento da estabilização de temperatura, momento em que se iniciou o processo de maturação do composto até sua aplicação a campo.

As características químicas de cada fertilizante orgânico para cada safra e o aporte de C e P estão apresentadas na Tabela 2, analisadas de acordo com metodologia oficial (APHA, 1992; AOAC, 2000), para determinação de N, P e C.

Tabela 2 - Aporte nutricional dos fertilizantes orgânicos no sistema iLP

	Teor de Nutrientes no Fertilizante			Dose 100%	Aporte de P			Aporte de C		
	(g kg ⁻¹ ou L ⁻¹)				(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)				
	N	P	C	kg ou L ha ⁻¹		% de Recomendação			% de Recomendação	
					75	100	150	75	100	150
Cultivo do milho 2011/12										
Cama	20,7	13,4	290	4800	48	64	96	1044	1392	2088
Dejeto	3,72	1,43	13	26880	28	38	57	262	349	523
Cultivo do milho 2012/13										
Cama	21,8	13,3	270	4600	46	61	91	931	1242	1863
Dejeto	3,85	0,99	8,5	25974	19	25	37	166	221	331
Composto	5,9	5,5	105	16949	70	93	139	1334	1779	2668
Cultivo de soja 2013/2014										
Cama	20,3	11,6	259	2463	22	29	43	478	638	957
Dejeto	4,2	0,82	12,5	11905	7,5	10	15	112	149	223
Composto	6,5	6,5	132	15384	75	100	150	1523	2031	3046
Cultivo de milho 2014/2015										
Cama	24,2	12,6	263,1	4132	39	52	78	815	1087	1630
Dejeto	2,7	0,9	9,8	37037	25	33	49	272	363	544
Composto	5,8	4,7	95,3	17241	61	81	121	1232	1643	2464
Cultivo de soja 2015/2016										
Cama	22,1	10,6	282	2262	18	24	36	478	638	957
Dejeto	3,4	0,9	10,5	14706	10	13	19	115	154	231
Composto	8,5	7,9	127	5882	34	46	69	560	747	1120
Cultivo de milho 2016/2017										
Cama	25,5	15,3	296	3921	45	60	90	871	1161	1741
Dejeto	2,5	0,35	5,7	40000	10	14	21	171	228	342
Composto	6,8	7,6	125	14706	84	112	168	1378	1838	2757
Soma do aporte durante a condução do sistema										
Cama					218,0	290,0	434,0	4617,0	6158,0	9236,0
Dejeto					99,5	133,0	198,0	1098,0	1464,0	2194,0
Composto					324,0	432,0	647,0	6027,0	8038,0	12055,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

De posse das informações sobre a concentração de N, P e K nos fertilizantes orgânicos foram estabelecidas as formulações minerais, sendo as fontes: ureia para N, superfosfato triplo para P e cloreto de potássio para K, de forma que no tratamento M1 (mineral 1) fosse adicionada as mesmas quantidades destes nutrientes que no dejeto líquido de suínos e no tratamento M2 (mineral 2) da cama de aves (dejeto/M1 e cama/M2). Sendo as formulações ajustadas a cada safra, conforme a composição dos fertilizantes orgânicos empregados em cada período.

Nas safras de verão dos anos agrícolas 2014/2015 e 2016/2017 foi semeada a cultura do milho (*Zea mays*), cultivar Celeron TL Syngenta, sendo híbrido simples, super precoce, com

alto valor produtivo e ótima qualidade de grãos, recomendado para áreas de alta fertilidade, a. A semeadura de milho foi realizada com 8-9 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,80 m.

Durante o inverno de 2015 foi utilizado a cultura de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) cultivar comum. A semeadura de aveia foi realizada com densidade de 50 kg ha⁻¹ de sementes, aproximadamente 80 sementes por metro linear em espaçamento entre linhas de 0,20 m. A pastagem de inverno foi utilizada para pastejo de ovelhas, sendo manejados no local conforme a altura das plantas. O número de vezes que os animais entraram no experimento e a carga animal, foi baseado na altura ideal para pastejo, sendo critério de retirada das ovelhas quando as plantas de aveia preta atingissem no máximo 10 cm de altura do solo, sendo estes contidos no local do experimento com auxílio de cerca elétrica.

Durante o verão do ano agrícola de 2015/2016 foi utilizada a cultura de soja (*Glycine max*) com 18 sementes por metro linear em espaçamento entre linhas de 0,45 m. A semeadura de todas as culturas foi realizada com semeadora de arrasto de plantio direto, composta de disco de corte frontal e discos duplo defasados, com rodas limitadoras de profundidade, haste sulcadora e compactadores em “V” com duas rodas de borracha.

3.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE PLANTAS

A colheita de grãos de milho e soja foi realizada manualmente, recolhendo-se as plantas contidas em 2 fileiras com 2 m de comprimento, totalizando 3,2 m². A seguir foi realizada a trilha manual, pesagem e secagem, determinando-se massa dos grãos colhidos com umidade corrigida para 13 % para o cálculo da produtividade.

Para a cultura de aveia preta no inverno a determinação da produção de biomassa seca de parte aérea foi realizada pela colheita das plantas contidas em três microparcelas de 0,25m² por unidade experimental, nos dois cultivos, cortando-se a cerca de 1 cm acima da superfície do solo. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante, sendo posteriormente pesado.

Para a determinação do teor de P no tecido vegetal das plantas de milho e soja foram amostradas 30 folhas do terço central oposta e abaixo da espiga para milho e terceira folha a partir do ápice da haste principal para cultura da soja, ambas na fase de florescimento. Para as determinações na aveia preta, utilizou-se o tecido da amostragem da parte aérea das plantas contidas em três microparcelas de 0,25 m², coletadas para a determinação da biomassa seca de parte aérea. As amostras de tecido vegetal coletadas das culturas foram secas em estufa com

circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante. Posteriormente, o material foi moído para a determinação dos teores de P conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

3.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISES QUÍMICAS NO SOLO

O solo foi amostrado após a colheita da soja na safra 2015/16 nas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. As subamostras foram retiradas aleatoriamente no mínimo em três pontos por parcela, constituindo uma amostra composta, sendo duas na entrelinha e uma na linha da cultura presente na área, com a utilização de pá de corte até 20 cm. Estas amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas para Embrapa Suínos e Aves, em seguida uma parte da amostra foi armazenada em bandejas de alumínio para secagem do solo ao ar. Após secagem as amostras foram moídas para as análises de pH, nitrogênio total (NT), COT, fracionamento químico de fósforo e das SH segundo metodologias descritas nos itens 3.3.1 e 3.3.2. O pH em água foi determinado de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A análise de COT e NT foi realizada em analisador elementar orgânico CHNS-O Flash 2000.

3.3.1 Fracionamento químico de P

O fracionamento de P foi realizado por extrações sucessivas seguindo a metodologia desenvolvida por Hedley et al. (1982) com modificações propostas por Condrón e Goh, (1989) e adaptações descritas por Gatiboni et al. (2013), a seguir descritas e conforme demonstrado no Apêndice A.

Foram utilizados 0,5 g de solo para extração sequencial, a saber:

a) P lábil - Resina de troca aniônica e catiônica (P - Resina)

Para a utilização das lâminas primeiramente foi realizado processo de saturação e recuperação das lâminas de resina seguindo metodologia com adaptações descritas por Miola (1995), que consiste na lavagem das lâminas com HCl 0,5 mol L⁻¹, após lavagem com H₂O destilada, em seguida foi realizado a saturação com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5 (adaptado de GATIBONI, 2013), após foi realizado lavagem com H₂O destilada.

No mesmo dia que foi realizada a recuperação das lâminas, foram adicionados aos tubos falcon contendo o solo previamente pesado 10 mL H₂O destilada; agitado por 16 horas em

agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto). Em seguida, a lâmina foi retirada com auxílio de uma pinça e lavada com H₂O destilada para remover as partículas aderidas de solo, foram centrifugadas a 1400 g por 10 minutos, para separação do solo a fim de realizar as extrações seguintes.

A lâmina de resina lavada foi novamente colocada em tubo falcon contendo 10 ml HCl 0,5 mol L⁻¹, que foi deixado em repouso por 90 minutos com a tampa aberta; agitado por 30 minutos a 160 rotações por minuto em agitador orbital, após obter o extrato de P- Resina, foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Murphy e Riley, (1962).

b) Fósforo Total (Pt) lábil – Bicarbonato de sódio (Pt-NaHCO₃)

Com o solo da extração anterior, foi adicionado 10 mL NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5, agitado por 16 horas a 160 rotações por minuto em agitador orbital, centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante, adicionado 3 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 5 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, neste extrato foi determinado a fração de Pt - NaHCO₃ 0,5 M.

Após a extração foi realizada a digestão deste extrato, retirando-se uma alíquota de 4 mL e adicionando 10 mL persulfato de amônio 7,5% + 1 mL ácido sulfúrico 1:1, autoclavado em tubos de digestão em 121°C por 3 horas e completado o volume para 20 mL com água destilada (USEPA, 1971). Em seguida, foi determinado o teor de Pt- NaHCO₃ 0,5 M de acordo com metodologia descrita por Murphy e Riley, (1962).

c) Pt moderadamente lábil – hidróxido de sódio 0,1 M (Pt- NaOH 0,1M)

Esta extração corresponde à adição de 10 ml NaOH 0,1 mol L⁻¹ na amostra de solo remanescente da extração anterior, agitação por 16 horas a 160 rotações por minuto em agitador orbital, centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro recipiente, adicionado 3 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 5 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior.

Após a extração foi realizada a digestão deste extrato, retirando-se uma alíquota de 1 mL e adicionando 10 mL persulfato de amônio 7,5% + 1 mL ácido sulfúrico 1:1, autoclavado em tubos de digestão em 121°C por 3 horas e completado o volume para 20 mL com água destilada (USEPA, 1971). Em seguida, foi determinado o teor de Pt- NaOH 0,1 M de acordo com metodologia descrita por Murphy e Riley, (1962).

d) P não lábil – ácido clorídrico 1 M (P- HCl 1M)

Com o solo da extração anterior, foi adicionado 10 mL de HCl 1,0 mol L⁻¹, agitado por 16 horas a 160 rotações por minuto em agitador orbital, centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro recipiente, adicionado 3 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 5 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, após obter o extrato de P- HCl 0,1 M, foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Murphy e Riley, (1962).

e) Pt moderadamente lábil – hidróxido de sódio 0,5 M (Pt - NaOH 0,5M)

O P inorgânico foi extraído da amostra de solo remanescente, adicionando 10 mL NaOH 0,5 mol L⁻¹, agitado por 16 horas a 160 rotações por minuto em agitador orbital, centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante ao extrato anterior. Após foi adicionado 3 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 5 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior.

Após a extração foi realizada a digestão deste extrato, retirando-se uma alíquota de 1 mL e adicionando 10 mL persulfato de amônio 7,5% + 1 mL ácido sulfúrico 1:1, autoclavado em tubos de digestão em 121°C por 3 horas e completado o volume para 20 mL com água destilada (USEPA, 1971). Em seguida, foi determinado o teor de Pt- NaOH 0,5 M de acordo com metodologia descrita por Murphy e Riley, (1962).

f) P residual não lábil

O P residual foi analisado após toda a sequência de extrações com a secagem do solo em estufa a 50° C, moagem e submetidas as amostras à digestão em bloco com H₂SO₄ + H₂O₂ concentrado (BROOKES et al., 1982).

Para todas as determinações das frações de P foi utilizado o equipamento espectrofotômetro de UV-visível a 882 nm (UV- CARY 50 Probe).

3.3.2 Fracionamento químico de substâncias húmicas

A separação das frações ácido fúlvico (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM) foi realizada conforme metodologia descrita por Benites et al. (2003). Utilizou-se 1,5 g de solo, pesados em tubo falcon de 50 mL, adicionado 20 mL da solução NaOH 0,1 mol L⁻¹, agitado manualmente e deixado em repouso por 24 horas; após o repouso foi centrifugado por 30 minutos a 3000 g. Ao término da centrifugação coletou-se o líquido sobrenadante em copo plástico, ao solo foi adicionado novamente 20 mL da solução NaOH 0,1 mol L⁻¹, agitado manualmente e deixado em repouso por 1 hora; em seguida centrifugado por 30 minutos a 3000 g e o sobrenadante adicionado ao extrato anterior.

Foi realizado o ajuste de pH do extrato alcalino para pH 1,0 com adição de solução de H₂SO₄ (20%), após decantar por um período de 18 horas realizou-se a filtração do precipitado em filtro membrana de 0,45 µm sob vácuo, obtendo-se assim a fração AF. Adicionou-se a solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ sobre o precipitado retido no filtro até completa lavagem do mesmo, obtendo a fração AH. Em sequência aferiu-se os volumes das frações obtidas (AF e AH) para 50 ml com água destilada. O teor de CO nas amostras líquidas de AF e AH foi determinado em equipamento TOC (Analisador de Carbono Orgânico Total por Combustão Catalítica - multi N/C2100S Analytik Jena).

No término da extração com NaOH 0,1 mol L⁻¹ o solo foi seco em estufa a 65° C e macerado, após foi determinado o CO presente na fração HUM utilizando analisador elementar orgânico CHNS-O Flash 2000.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise da homogeneidade e normalidade da variância, e não houve a necessidade de transformação dos dados. Após, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, protegido pela significância do teste F global. Adicionalmente, foi realizada análise de regressão para determinar o comportamento das variáveis em resposta à aplicação das doses de fertilizantes orgânicos e mineral. Para as análises estatísticas e elaboração dos gráficos utilizou-se o software SigmaPlot 12.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MODIFICAÇÕES NAS FRAÇÕES DE CARBONO, TEORES DE pH-H₂O, CARBONO ORGÂNICO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL E RELAÇÃO C/N

Após seis anos de sistema integração lavoura-pecuária (iLP) a aplicação de fertilizantes alterou os valores de pH em água, sendo esse efeito intensificado em razão do aumento das doses, com comportamento linear decrescente quando utilizados as formas minerais M1 e M2 em todas as camadas avaliadas, e o fertilizante composto na camada superficial do solo de 0,00 – 0,05 m que apresentou comportamento linear crescente (Tabela 3).

Tabela 3- Valores de pH-H₂O do solo nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférrico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação*
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	5,6	6,0	5,6 AB	5,6 A	$\hat{y}= 5,7$
Dejeto	5,6	5,4	5,4 AB	4,9 B	$\hat{y}= 5,2$
M1	5,6	5,1	4,8 B	4,5 B	$\hat{y}= 5,6-0,007^{**}x$ R ² = 0,97
M2	5,6	5,3	4,7 B	4,7 B	$\hat{y}= 5,6-0,007^{**}x$ R ² = 0,83
Composto	5,6	5,9	6,0 A	6,2 A	$\hat{y}= 5,6+0,004^{*}x$ R ² = 0,99
0,05-0,10 m					
Cama	5,5	5,9	5,8	5,8 A	$\hat{y}= 5,8$
Dejeto	5,5	5,3	6,2	5,0 AB	$\hat{y}= 5,5$
M1	5,5	5,1	5,0	4,6 B	$\hat{y}= 5,5-0,006^{**}x$ R ² = 0,99
M2	5,5	5,6	4,8	4,7 B	$\hat{y}= 5,6-0,006^{**}x$ R ² = 0,62
Composto	5,5	5,7	6,1	5,8 A	$\hat{y}= 5,8$
0,10-0,20 m					
Cama	5,7	5,8	5,8	5,8 A	$\hat{y}= 5,8$
Dejeto	5,7	5,5	6,3	5,1 AB	$\hat{y}= 5,6$
M1	5,7	5,2	5,2	4,8 B	$\hat{y}= 5,7-0,006^{**}x$ R ² = 0,96
M2	5,7	5,7	5,0	5,1 AB	$\hat{y}= 5,8-0,005^{*}x$ R ² = 0,65
Composto	5,7	5,7	6,0	5,5 A	$\hat{y}= 5,7$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A redução dos valores de pH em água apresentados nos fertilizantes M1 e M2 podem ser justificados em razão do aumento de produtividade nas maiores doses, fator que demanda maior absorção de nutrientes e, conseqüentemente, maior liberação de H⁺ para solução do solo,

já para fertilizantes orgânicos o aumento ou manutenção dos valores de pH está relacionado ao aporte de MO presente em sua composição o que permite a adsorção de parte deste H⁺ liberados pela exsudação radicular.

A manutenção do valor de pH em água nas camadas inferiores, advinda da aplicação dos fertilizantes orgânicos, permite maior disponibilidade de nutrientes, entre eles cátions como Ca e Mg (LOURENZI et al., 2011) ou seja, torna o meio apto a maior exploração radicular, consequentemente maior capacidade de absorção de água e melhor adequação a possíveis intempéries climáticas.

A adubação com fertilizantes orgânicos e minerais em doses crescentes sob sistema de produção iLP aumentou o teor de CO na fração ácido húmico (AH) para todos tratamentos da camada de 0,00– 0,05 m, sendo esta camada a de maior intensidade no incremento desta fração, havendo significância apenas para dejetos e M1 nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m e para composto e M2 nesta última camada (Tabela 4).

Tabela 4 – Teor de carbono orgânico na fração ácido húmico no solo (g kg⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférrico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação*
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	6,75	6,96	7,85	8,27 AB	$\hat{y} = 6,59 + 0,011^{**}x$ R ² = 0,84
Dejeto	6,75	7,14	7,49	8,32 AB	$\hat{y} = 6,59 + 0,010^{**}x$ R ² = 0,91
M1	6,75	7,50	8,32	9,87 A	$\hat{y} = 6,45 + 0,020^{**}x$ R ² = 0,91
M2	6,75	6,78	7,73	10,19 A	$\hat{y} = 6,09 + 0,022^{**}x$ R ² = 0,71
Composto	6,75	7,32	7,26	7,61 B	$\hat{y} = 6,78 + 0,006^{*}x$ R ² = 0,94
0,05-0,10 m					
Cama	6,43	6,09	6,12	6,38 B	$\hat{y} = 6,20$
Dejeto	6,43	6,69	6,88	7,06 AB	$\hat{y} = 6,37 + 0,006^{**}x$ R ² = 0,98
M1	6,43	6,47	6,99	8,33 A	$\hat{y} = 6,07 + 0,012^{**}x$ R ² = 0,72
M2	6,43	6,02	6,89	7,33 AB	$\hat{y} = 6,75$
Composto	6,43	6,05	6,40	7,08 AB	$\hat{y} = 6,51$
0,10-0,20 m					
Cama	5,89	5,90	5,96	7,12	$\hat{y} = 6,32$
Dejeto	5,89	6,30	6,65	6,95	$\hat{y} = 5,86 + 0,007^{**}x$ R ² = 0,97
M1	5,89	5,25	6,13	6,82	$\hat{y} = 5,85 - 0,015^{**}x + 0,0001^{**}x^2$ R ² = 0,84
M2	5,89	5,32	6,57	7,21	$\hat{y} = 5,50 - 0,009^{**}x$ R ² = 0,70
Composto	5,89	5,80	6,08	7,06	$\hat{y} = 5,89 - 0,010^{**}x + 0,0001^{**}x^2$ R ² = 0,99

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey (p ≤ 0,05). *Equações de regressão (*p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Apenas na dose de 150% houve diferença entre fertilizantes, sendo o M2 superior ao composto na camada de 0,00 - 0,05 m e M1 superior à cama na camada de 0,05 – 0,10 m. Na camada de 0,10 – 0,20 m não houve diferença entre os tratamentos, independente da dose aplicada (Tabela 4). O incremento do AH em razão do aumento de doses dos fertilizantes no sistema iLP estão relacionados à maior produção de biomassa vegetal, tanto nas culturas de inverno como verão (Figura 4 e 5), em especial na camada de 0,00 – 0,05 m onde há maior concentração radicular e posterior deposição da parte aérea, conforme destacado por Anghinoni et al. (2011) e Bezerra et al. (2013).

O aumento da fração AH está relacionado à melhoria das características físicas do solo em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos, permitindo maior agregação de coloides, aumento de porosidade, principalmente a microporosidade, menor densidade, maior infiltração de água no solo (RAUBER et al., 2012). Os AH são compostos que apresentam pouca solubilidade em meio ácido, e são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais (BENITES et al., 2003), sendo uma fração mais estável que a fração ácido fúlvico (AF) foi a mais eficiente para demonstrar variação entre diferentes fertilizantes (orgânicos ou minerais) em sistema iLP com seis anos de condução quando comparados AH e AF.

Os AF são compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular e são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. (BENITES et al., 2003). Desta forma, houve resposta em ocasiões isoladas para determinado fertilizante e na camada específica, com comportamento linear crescente para dejetos e M2 nas duas primeiras camadas, composto na camada de 0,05 – 0,10 m e comportamento quadrático crescente para cama e M1. Não houve diferença entre fertilizantes para mesma dose (Tabela 5). É importante ressaltar que as pequenas modificações encontradas podem ser justificadas em razão da constituição do AF podendo haver rápida transformação que pode ser conduzido a formar AH em moléculas menores como proteína ou aminoácidos de rápida degradação ou absorção pelas plantas (STEVENSON, 1994).

Em avaliação da adição de DS acidificado e não acidificado observou-se a manutenção da concentração de CO no solo, com modificações na distribuição das frações húmicas, onde a adição de DS acidificado resultou na formação de AH com maior conteúdo aromático e menores grupos funcionais do que o DS não acidificado, indicando a presença AH mais estáveis no solo tratado com DS acidificado (LÜDTKE et al., 2016).

Tabela 5 – Teor de carbono orgânico na fração ácido fúlvico no solo (g kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação*
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	5,98	5,85	6,07	6,13	$\hat{y}= 6,02$
Dejeto	5,98	6,33	6,41	6,60	$\hat{y}= 5,99+0,004*x$ $R^2= 0,99$
M1	5,98	5,76	5,61	5,96	$\hat{y}= 5,78$
M2	5,98	6,05	6,77	7,05	$\hat{y}= 5,85+0,007*x$ $R^2= 0,78$
Composto	5,98	5,89	6,40	6,50	$\hat{y}= 6,26$
0,05-0,10 m					
Cama	5,29	5,32	5,39	5,67	$\hat{y}= 5,46$
Dejeto	5,29	5,98	5,99	6,00	$\hat{y}= 5,42+0,005*x$ $R^2= 0,77$
M1	5,29	5,12	5,25	6,03	$\hat{y}= 5,47$
M2	5,29	5,40	6,10	6,21	$\hat{y}= 5,21+0,007*x$ $R^2= 0,77$
Composto	5,29	5,35	5,66	5,90	$\hat{y}= 5,22+0,004*x$ $R^2= 0,83$
0,10-0,20 m					
Cama	5,27	4,82	5,18	6,09	$\hat{y}= 5,27-0,016*x+0,0001*x^2$ $R^2= 0,99$
Dejeto	5,27	5,16	5,23	5,70	$\hat{y}= 5,37$
M1	5,27	4,77	4,78	5,63	$\hat{y}= 5,28-0,018*x+0,0001*x^2$ $R^2= 0,98$
M2	5,27	4,92	5,53	5,78	$\hat{y}= 5,41$
Composto	5,27	5,34	5,37	5,72	$\hat{y}= 5,48$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O fracionamento químico das SH é eficiente em identificar além dos efeitos do manejo de adubação com fertilizantes orgânicos e mineiras as diferenças provenientes dos diferentes sistemas de uso do solo. Em estudo avaliando diferentes tempos de adoção de SPD e tipos de cultivos em Nitossolo Vermelho Eutroférico típico observou-se predomínio da fração HUM e movimentação de AH e AF na camada de 0,00 – 0,40 m de profundidade (ROSSET et al., 2016).

Após sucessivos anos de cultivo de soja e milho observou-se o aumento do AH e a redução do AF na camada de 0,00 – 0,20 m, indicando perda de AF pela mineralização ou transformação deste composto (CAETANO et al., 2013). Mas quando comparados diferentes sistemas de produção com rotação de culturas a iLP promoveu maiores teores de AH, AF e HUM nas camadas de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m quando comparado ao SPD (BEZERRA et al., 2013).

Estes trabalhos e os resultados encontrados permitem compreender que as frações AF, AH e HUM sofrem alterações no solo dependendo do fertilizante orgânico ou mineral aplicado, do sistema de manejo e os diferentes cultivos utilizados.

Na fração HUM verificou-se comportamento linear crescente para cama em todas as camadas, composto em 0,00 – 0,05 m, M2 em 0,05 – 0,10 m e M1 em 0,10 – 0,20 m, e comportamento quadrático para dejetos em 0,00 – 0,05 m, houve diferença entre fertilizantes sendo a cama superior a M2 nas doses 100 e 150% e M1 na dose de 150% (Tabela 6).

Tabela 6 – Teor de carbono orgânico da fração humina no solo (g kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférrico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	12,05	12,81	14,51 A	15,76 A	$\hat{y} = 11,72 + 0,025^{**}x$ $R^2 = 0,89$
Dejeto	12,05	10,11	12,58 AB	13,95 AB	$\hat{y} = 11,93 - 0,04^*x + 0,0004x^2$ $R^2 = 0,76$
M1	12,05	10,79	11,52 AB	11,56 B	$\hat{y} = 11,29$
M2	12,05	10,90	10,23 B	11,36 B	$\hat{y} = 10,83$
Composto	12,05	12,83	13,99 A	14,04 AB	$\hat{y} = 12,06 + 0,014^*x$ $R^2 = 0,93$
0,05-0,10 m					
Cama	8,06	9,11	9,88	10,15	$\hat{y} = 8,11 + 0,015^*x$ $R^2 = 0,95$
Dejeto	8,06	8,35	8,54	8,58	$\hat{y} = 8,49$
M1	8,06	8,03	8,38	8,50	$\hat{y} = 8,30$
M2	8,06	8,55	9,34	9,57	$\hat{y} = 8,01 + 0,010^*x$ $R^2 = 0,90$
Composto	8,06	8,90	9,02	9,28	$\hat{y} = 9,07$
0,10-0,20 m					
Cama	6,71	7,61	8,29	9,30	$\hat{y} = 6,58 + 0,017^{**}x$ $R^2 = 0,97$
Dejeto	6,71	7,21	7,64	8,57	$\hat{y} = 7,81$
M1	6,71	7,74	7,99	8,01	$\hat{y} = 6,87 + 0,009^*x$ $R^2 = 0,86$
M2	6,71	7,75	8,23	8,49	$\hat{y} = 8,15$
Composto	6,71	7,16	7,34	8,04	$\hat{y} = 7,51$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão ($*p \leq 0,05$; $**p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejetos; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A grande contribuição da cama de aves para elevar o teor da HUM no solo pode estar relacionada à presença de maravalha, que apresenta grande quantidade de C em frações estáveis como lignina e celulose, moléculas que conferem menor degradação destes compostos após aplicação no solo (ERNANI, 2016). Esta condição foi semelhante ao composto, e ambos apresentaram comportamento semelhante na camada superficial do solo. A HUM é responsável

pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais representa boa parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003). Por esta razão os teores de HUM foram superiores aos das frações AF e AH, o que está em conformidade ao observado na literatura em solos com maiores teores de argila (BEZERRA et al., 2013; CAETANO et al., 2013).

A aplicação de fertilizantes orgânicos (cama, dejetos e composto) eleva os teores de COT na superfície do solo, enquanto cama e dejetos ainda apresentam este mesmo comportamento linear crescente na camada de 0,10 – 0,20 m, em contrapartida o fertilizante mineral M1 apresentou comportamento linear decrescente na camada de 0,00 – 0,05 m e quadrático crescente em 0,05 – 0,10 m (Tabela 7).

Tabela 7 – Teor de carbono orgânico total no solo (g kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	30,82	31,72	31,82 AB	37,25 A	$\hat{y} = 29,74 + 0,039^{**}x$ $R^2 = 0,69$
Dejeto	30,82	32,44	33,69 A	36,08 A	$\hat{y} = 30,44 + 0,035^{**}x$ $R^2 = 0,95$
M1	30,82	28,59	22,53 B	26,00 B	$\hat{y} = 30,26 - 0,040^{**}x$ $R^2 = 0,50$
M2	30,82	29,62	30,55 AB	33,84 AB	$\hat{y} = 31,34$
Composto	30,82	33,91	35,01 A	37,49 A	$\hat{y} = 30,71 + 0,044^{**}x$ $R^2 = 0,99$
0,05-0,10 m					
Cama	24,95	23,75	25,24	27,78	$\hat{y} = 25,59$
Dejeto	24,95	24,30	24,90	23,48	$\hat{y} = 24,23$
M1	24,95	23,42	23,16	26,09	$\hat{y} = 24,99 - 0,058^{**}x + 0,0004^{**}x^2$ $R^2 = 0,96$
M2	24,95	24,83	26,77	27,30	$\hat{y} = 26,30$
Composto	24,95	23,44	23,68	27,41	$\hat{y} = 24,84$
0,10-0,20 m					
Cama	21,75	22,20	24,42	28,26	$\hat{y} = 20,72 + 0,042^{**}x$ $R^2 = 0,79$
Dejeto	21,75	21,68	23,29	26,76	$\hat{y} = 20,77 + 0,032^{**}x$ $R^2 = 0,70$
M1	21,75	22,45	24,51	24,01	$\hat{y} = 23,66$
M2	21,75	21,77	22,60	26,18	$\hat{y} = 23,51$
Composto	21,75	22,81	21,53	22,44	$\hat{y} = 21,79$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão ($*p \leq 0,05$; $**p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejetos; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O elevado potencial dos resíduos orgânicos foi evidenciado por Corrêa et al. (2017). Quando aplicadas doses crescentes de cama de aves ao solo na forma farelada e peletizada, os autores observaram os teores de COT na camada superficial (0,00 - 0,10 m) do solo. Já Scherer

et al. (2010) não encontrou mesmos resultados após 15 a 25 anos de aplicações sucessivas de DS em sistema de plantio direto (SPD), observaram que o teor de COT no solo não foi alterado na condição de Neossolo Litólico, Cambissolo Háptico e Latossolo Vermelho, sendo justificado este comportamento devido ao DS apresentar baixo teor de matéria seca e CO. Por esta razão, deve ser mantido práticas para favorecer os teores adequados de COT, assegurando a qualidade química, física e biológica do solo (MAFRA et al., 2014).

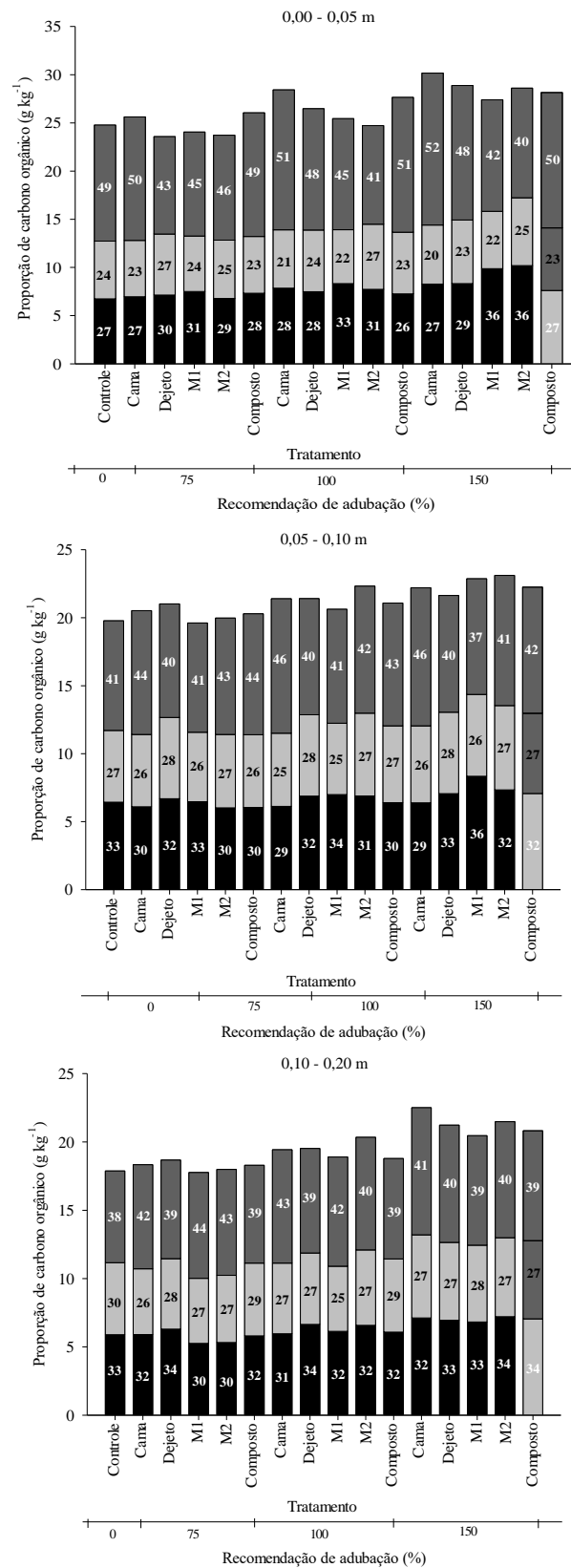
Assim como os fertilizantes orgânicos, a associação de culturas no sistema iLP proporciona maior produção de resíduos vegetais, provenientes tanto das culturas como das pastagens (SOUZA et al., 2010; LOSS et al., 2012), tanto na superfície como no perfil do solo pelas raízes (ANGHINONI et al., 2011). E pode ser intensificado em solos alto teor de argila, pois permitem estocar mais C (SIX et al., 2002).

A diferença entre o aporte de C no sistema em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos em relação ao mineral (Tabela 2), condição que permitiu manutenção ou incremento dos valores de pH em água no solo (Tabela 3), maior acréscimo da fração HUM (fração mais estável) nas condições de cama e composto em superfície e cama em subsuperfície (Tabela 6), características que explicam, pelo menos parcialmente, os maiores teores de COT nos tratamentos com adubos orgânicos.

A adubação com fertilizantes orgânicos e minerais altera as frações de CO em sistema de iLP após seis anos (Figura 2). Em ambos os tratamentos, doses e camadas de solos avaliadas as frações de CO no solo seguem a ordem de grandeza $HUM > AH \geq AF$ camada superficial (0,00 - 0,05 m), e a ordem $HUM > AH > AF$ nas camadas subjacentes do solo (0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m).

Entre as frações de carbono pode-se observar, na camada 0,00 - 0,05 m, que a fração HUM apresenta a maior variação em proporção e com maior intensidade na dose de 150%, em razão de diferentes doses e fontes de fertilizantes orgânicos ou minerais com intervalo entre 40 – 52% do total, sendo a cama e composto os que apresentaram a maior contribuição para acúmulo, enquanto os minerais (M1 e M2) demonstram mineralização do HUM para AH e não houve pequenas modificações em proporção para AF (Figura 2).

Figura 2 – Teor (g kg^{-1}) e proporção (%) das frações de CO após seis anos de aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Na camada de 0,05 – 0,10 m houve redução na proporção HUM/COT para valores em intervalo de 41 – 42% em média para cada dose, incremento na proporção AF/COT (26 – 27%) e manutenção da proporção AH/COT (31 – 32%) quando comparada a camada superficial (Figura 2). Na camada de 0,10 – 0,20 m ocorrem intervalos com valores próximos aos encontrados na camada anterior de 40 – 41%, 27 % e 32 – 33% em média para cada dose na fração HUM, AF e AH, respectivamente.

Nas camadas mais subsuperficiais o C-HUM, considerado de menor biodisponibilidade pela sua complexação com íons metálicos ou pela formação de compostos argilo-húmicos estáveis (BENITES et al., 2003), portanto as maiores modificações ocorreram entre o AF e AH, justificado pela ação dos microrganismos na degradabilidade das moléculas menores e por serem frações menos estáveis (FONTANA et al., 2006).

Na camada superficial (0,00-0,05 m) vale destacar os fertilizantes minerais (M1 e M2), na dose de 150%, os quais proporcionaram o incremento da fração AH em detrimento a fração HUM. A segunda camada (0,05-0,10 m) houve maior contribuição da fração HUM no tratamento cama, em comparação aos demais tratamentos, independente da dose. Na última camada o controle apresentou maior proporção para AF (na ordem de 7%), HUM (6 %) e menor proporção de AH (na ordem de 5%) em relação aos demais tratamentos (Figura 2).

Após seis anos, a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais no sistema iLP pode-se observar elevação dos teores N total (NT) no solo, quando se utilizou fertilizantes orgânicos, com comportamento linear crescente para dejetos, cama e composto na camada de 0,00 – 0,05 m, e nas demais camadas apenas o dejetos permanece com comportamento significativo para elevar os teores de NT no solo (Tabela 8).

Tabela 8 – Teor de nitrogênio total (g kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	2,49	2,53 AB	3,25 A	3,40 A	$\hat{y} = 2,38 + 0,006^{**}x$ $R^2 = 0,74$
Dejeto	2,49	2,88 A	2,84 AB	3,00 AB	$\hat{y} = 2,53 + 0,003^{**}x$ $R^2 = 0,91$
M1	2,49	2,72 AB	2,66 AB	2,31 C	$\hat{y} = 2,57$
M2	2,49	2,20 B	2,36 B	2,54 BC	$\hat{y} = 2,37$
Composto	2,49	2,50 AB	3,02 AB	3,05 AB	$\hat{y} = 2,43 + 0,004^{**}x$ $R^2 = 0,69$
0,05-0,10 m					
Cama	1,98	2,04	2,34	2,13	$\hat{y} = 2,17$
Dejeto	1,98	2,21	2,37	2,43	$\hat{y} = 1,99 + 0,003^{**}x$ $R^2 = 0,96$
M1	1,98	2,13	2,00	1,89	$\hat{y} = 2,00$
M2	1,98	1,71	2,14	2,00	$\hat{y} = 1,95$
Composto	1,98	1,97	2,04	1,93	$\hat{y} = 1,98$
0,10-0,20 m					
Cama	1,75	1,80 A	2,17 A	1,92 AB	$\hat{y} = 1,97$
Dejeto	1,75	2,18 A	2,15 A	2,23 A	$\hat{y} = 1,81 + 0,003^{**}x$ $R^2 = 0,83$
M1	1,75	1,90 A	1,81 AB	1,69 B	$\hat{y} = 1,80$
M2	1,75	1,57 B	1,64 B	1,84 AB	$\hat{y} = 1,68$
Composto	1,75	1,71 B	1,60 B	1,65 B	$\hat{y} = 1,65$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

As maiores contribuições para elevar o teor de NT no solo provêm da cama na dose de 150% que corresponde a aporte de 450 kg ha^{-1} de N na camada de 0,00 – 0,05 m e do dejeto na dose de 150% com 225 e 480 kg ha^{-1} de N nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m (Tabela 8).

Houve diferença entre fertilizantes nas doses de 75% onde dejeto foi superior a M2; na dose de 100% com a cama superior a M2, e maior que M1 e M2 na dose de 150% para camada de 0,00 – 0,05 m (Tabela 8). Não ocorreu diferença entre tratamentos na camada de 0,05 – 0,10 m, já na camada de 0,10 – 0,20 m os fertilizantes diferem na dose de 75% com dejeto superior a M2 e composto, cama superior a M2 e composto na dose 100% e dejeto superior a M1 e composto na dose de 150%.

Estes resultados corroboram com Grohskopf et al. (2015) onde aplicações sucessivas de fertilizantes orgânicos a longo prazo contribuem no aumento do teor de NT no solo. Já Hentz et al. (2016) após dois anos de aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais em sistema de

produção iLP não encontraram diferença nos teores de NT no solo quando aplicado durante curto prazo.

As alterações nos valores da relação C/N (Tabela 10) estão relacionadas aos incrementos de COT (Tabela 7) e NT (Tabela 8), principalmente nos tratamentos com fertilizantes cama e dejetos. Em algumas ocasiões em que COT e NT aumentaram em proporções semelhantes houve manutenção da relação C/N em relação ao tratamento controle, o que está relacionado à provável estabilidade do sistema iLP e, nas condições de maiores doses, ao aumento das frações húmicas (Tabela 4). Os valores da relação C/N por apresentarem menores que 20, estabelece que o processo dominante é a mineralização (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Entre os fertilizantes que apresentaram redução nos valores da relação C/N estão a cama de aves com comportamento linear decrescente na camada superficial e comportamento quadrático com o menor valor na dose de 78% na camada de 0,05 – 0,10 m; o dejetos com comportamento linear decrescente na camada de 0,05 – 0,10 m e quadrático com o menor valor na dose 87% na camada de 0,10 – 0,20 m; e M1 com comportamento quadrático nas camadas de 0,00 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m sendo as doses de 78 e 59% as com menores valores de relação C/N nestas camadas (Tabela 9). Apenas o fertilizante M2 apresentou incremento na relação C/N na camada superficial com comportamento linear. A redução dos valores da relação C/N em razão da aplicação crescente de doses de fertilizantes orgânicos ou minerais favorece a decomposição e a liberação de N ao solo.

Tabela 9 – Relação C/N nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	12,2	12,5	10,5 A	11,0	$\hat{y} = 12,4 - 0,010 * x$ $R^2 = 0,45$
Dejeto	12,2	11,2	11,9 AB	12,2	$\hat{y} = 11,7$
M1	12,2	10,7	9,8 B	11,3	$\hat{y} = 12,3 - 0,047 ** x + 0,0003 ** x^2$ $R^2 = 0,87$
M2	12,2	13,5	13,0 AB	13,3	$\hat{y} = 12,4 + 0,007 * x$ $R^2 = 0,61$
Composto	12,2	13,0	11,8 AB	11,4	$\hat{y} = 12,1$
0,05-0,10 m					
Cama	12,7	11,5 AB	10,8	13,2 A	$\hat{y} = 12,7 - 0,047 * x + 0,0003 * x^2$ $R^2 = 0,86$
Dejeto	12,7	11,0 B	10,5	9,7 B	$\hat{y} = 12,6 - 0,020 ** x$ $R^2 = 0,99$
M1	12,7	11,2 B	11,6	13,8 A	$\hat{y} = 12,7 - 0,047 ** x + 0,0004 ** x^2$ $R^2 = 0,99$
M2	12,7	13,9 A	13,0	13,7 A	$\hat{y} = 13,5$
Composto	12,7	11,9 AB	12,9	14,3 A	$\hat{y} = 13,0$
0,10-0,20 m					
Cama	13,5	12,3	11,3	14,8	$\hat{y} = 12,8$
Dejeto	13,5	10,3	10,8	12,0	$\hat{y} = 12,6 - 0,052 ** x + 0,0003 ** x^2$ $R^2 = 0,97$
M1	13,5	12,9	13,5	14,2	$\hat{y} = 13,6$
M2	13,5	13,8	13,8	14,2	$\hat{y} = 13,9$
Composto	13,5	13,4	13,7	13,6	$\hat{y} = 13,6$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4.2 FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SOLO E CORRELAÇÃO COM CARBONO EM RAZÃO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS

O aporte de fósforo (P) no sistema iLP em razão de doses crescentes de fertilizantes orgânicos ou minerais ao longo de vários cultivos de verão atingiu valores de 434, 198 e 647 kg ha⁻¹ de P, respectivamente para cama, dejetos e composto na maior dose de recomendação e quantidades similares nos fertilizantes minerais entre os pares M1/dejeto e M2/cama (Tabela 2). Desta forma, os fertilizantes que tiveram maior contribuição no teor de P extraído por resina, foram os que apresentaram maiores aportes (cama e composto), porém todos estabeleceram comportamento linear crescente até a profundidade de 0,20 m, com exceção da cama na camada de 0,10 – 0,20 m que demonstrou comportamento quadrático crescente (Tabela 10).

Tabela 10 – Fração de fósforo lábil do solo extraído por resina troca iônica (mg kg⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	48,6	102,9 A	162,1 AB	174,8 A	$\hat{y} = 49,5 + 0,893^{***}x$ R ² = 0,92
Dejeto	48,6	61,8 B	66,7 C	86,9 B	$\hat{y} = 45,9 + 0,247^{***}x$ R ² = 0,94
M1	48,6	81,7 AB	88,2 C	114,5 B	$\hat{y} = 48,1 + 0,432^{***}x$ R ² = 0,99
M2	48,6	102,2 A	172,7 A	174,1 A	$\hat{y} = 50,7 + 0,906^{***}x$ R ² = 0,87
Composto	48,6	94,2 AB	127,6 B	168,9 A	$\hat{y} = 44,2 + 0,808^{***}x$ R ² = 0,98
0,05-0,10 m					
Cama	19,2	43,5 AB	101,1 A	97,6 A	$\hat{y} = 18,4 + 0,578^{***}x$ R ² = 0,79
Dejeto	19,2	37,1 AB	44,8 B	57,2 B	$\hat{y} = 18,9 + 0,254^{***}x$ R ² = 0,99
M1	19,2	18,6 B	38,5 B	58,1 B	$\hat{y} = 12,6 + 0,259^{***}x$ R ² = 0,75
M2	19,2	38,8 AB	107,8 A	103,6 A	$\hat{y} = 16,5 + 0,626^{***}x$ R ² = 0,76
Composto	19,2	57,2 A	66,9 B	90,9 A	$\hat{y} = 19,9 + 0,476^{***}x$ R ² = 0,99
0,10-0,20 m					
Cama	13,0	42,5 A	50,3 A	54,2 A	$\hat{y} = 12,9 + 0,537^{***}x - 0,002^{***}x^2$ R ² = 0,99
Dejeto	13,0	18,9 B	20,6 C	21,9 B	$\hat{y} = 13,6 + 0,061^{***}x$ R ² = 0,95
M1	13,0	18,0 B	38,5 AB	40,7 A	$\hat{y} = 11,3 + 0,200^{***}x$ R ² = 0,79
M2	13,0	31,0 AB	52,7 A	55,6 A	$\hat{y} = 13,5 + 0,303^{***}x$ R ² = 0,90
Composto	13,0	18,4 B	27,6 BC	27,7 B	$\hat{y} = 13,0 + 0,106^{***}x$ R ² = 0,85

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A proporção entre o aporte de P no solo dos fertilizantes cama e dejetos foi superior a 2:1, a qual estabelece valores de coeficientes angulares para teor de P extraído por resina nesta

mesma ordem, que são similares aos seus pares com fertilizantes minerais M1/cama e M2/dejeto (Tabela 10). Assim, tanto a cama como M2 mostram-se superior ao dejeto a partir da dose de 75% e a M1 a partir de 100% em superfície; semelhante a camada de 0,05 – 0,10 m com superioridade da cama e M2 ao dejeto e M1 a partir de 100% e ao composto nesta dose; na camada de 0,10 – 0,20 m a cama é superior ao dejeto e ao composto a partir de 75%, sendo a eficiência dos minerais (M1 e M2) semelhante a cama, com exceção na dose de 75% onde a cama é superior a M1 (Tabela 10).

A aplicação de fertilizantes orgânicos (dejeto de suínos, bovinos e cama sobreposta de suínos) e minerais (NPK) após 8 anos proporcionaram níveis mais altos de P lábil extraído por resina na camada superficial de um Argissolo típico com decréscimos em profundidade (COUTO et al., 2017), mesmos resultados foram observados em estudo com diferentes teores de argila (RHEINHEIMER, 2000), redução justificada pelo fato de que os resíduos são adicionados na superfície do solo em sistemas de plantio direto sem incorporação (CASSOL et al., 2012) o que permitiu a manutenção dos teores de P na solução do solo mais elevados.

Caione et al. (2015) avaliaram as frações de P após dois anos de aplicação de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados e torta de filtro em um Argissolo Vermelho Eutrófico com cultivo de cana de açúcar. Os autores não encontraram diferenças quando foi aplicado diferentes formas de fertilizantes minerais fosfatados no solo. Mas ao aplicar fertilizantes orgânicos a base de DS resultam no aumento nos teores de P lábil no solo, principalmente quando são aplicados a longo prazo (GATIBONI et al., 2008).

É importante ressaltar o teor de argila deste Nitossolo (700 g kg^{-1}), os valores de pH (Tabela 3) e a maior presença de COT na superfície (Tabela 7), características que associadas interferem na capacidade armazenamento e taxas de liberação dos íons ortofosfato intrínseco do solo ou melhorados pelas boas práticas de adubação, semelhante ao relatado por Gatiboni et al. (2013) que caracterizam os processos físico-químicos, como o pH, teores de Al solúvel, Fe, Ca, MO e teor de argila, que associados condicionam a dissolução, adsorção e dessorção do P no sistema.

A segunda fração com NaHCO_3 , assim como a resina trocadora de íons, extrai o P lábil do solo, e desta forma pode-se observar comportamento semelhante para teores de P entre elas, onde todos os fertilizantes apresentaram comportamento linear crescente em todas as camadas, com exceção na camada de 0,05 – 0,10 m para M2 que apresentou comportamento quadrático crescente e M1 na camada de 0,10 – 0,20 m que não demonstrou significância (Tabela 11).

Tabela 11 – Fração de fósforo total lábil no solo extraído por NaHCO_3 0,5M (mg kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	62,6	99,6	119,1 A	128,7 B	$\hat{y} = 65,3 + 0,458^{**}x$ $R^2 = 0,96$
Dejeto	62,6	88,6	88,5 AB	111,0 B	$\hat{y} = 62,4 + 0,312^{**}x$ $R^2 = 0,97$
M1	62,6	87,2	82,4 B	117,8 B	$\hat{y} = 59,7 + 0,342^{**}x$ $R^2 = 0,88$
M2	62,6	91,5	116,8 A	186,6 A	$\hat{y} = 49,5 + 0,799^{**}x$ $R^2 = 0,89$
Composto	62,6	96,8	99,5 AB	128,5 B	$\hat{y} = 62,1 + 0,428^{**}x$ $R^2 = 0,98$
0,05-0,10 m					
Cama	57,5	71,7	98,2 A	105,6	$\hat{y} = 55,6 + 0,339^{**}x$ $R^2 = 0,89$
Dejeto	57,5	66,6	73,9 B	83,7	$\hat{y} = 56,2 + 0,175^{**}x$ $R^2 = 0,97$
M1	57,5	76,8	96,6 A	91,4	$\hat{y} = 60,2 + 0,251^{**}x$ $R^2 = 0,80$
M2	57,5	83,1	101,5 A	99,9	$\hat{y} = 56,8 + 0,555^{**}x - 0,002^{**}x^2$ $R^2 = 0,94$
Composto	57,5	78,5	80,2 AB	90,2	$\hat{y} = 59,0 + 0,217^{**}x$ $R^2 = 0,97$
0,10-0,20 m					
Cama	50,8	57,5	61,4 B	71,7 B	$\hat{y} = 49,3 + 0,136^{**}x$ $R^2 = 0,94$
Dejeto	50,8	54,5	60,8 B	67,1 B	$\hat{y} = 49,4 + 0,110^{**}x$ $R^2 = 0,91$
M1	50,8	49,1	40,0 C	56,7 B	$\hat{y} = 60,8$
M2	50,8	60,8	77,8 A	89,6 A	$\hat{y} = 48,2 + 0,265^{**}x$ $R^2 = 0,92$
Composto	50,8	57,5	61,5 B	66,6 B	$\hat{y} = 50,5 + 0,106^{**}x$ $R^2 = 0,99$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Na extração com P-NaHCO_3 é interessante notar que: os maiores valores de P lábil foram apresentados em M2, principalmente na dose de 150% por superar todos os demais nas camadas de 0,00 – 0,05 e 0,10 – 0,20 m, embora tenha recebido a mesma concentração em P da cama; e superior ao dejeto e semelhante aos demais na dose de 100% na camada de 0,05 – 0,10 m (Tabela 11). Resultado que permite justificar a maior sensibilidade desta extração para detecção de P lábil quando são aplicadas grandes quantidades de P no sistema.

A aplicação frequente de fertilizantes orgânicos ou minerais em uma mesma área, é comum ocorrer o acúmulo de nutrientes entre eles o P, nas camadas superficiais do solo principalmente em solos sob plantio direto (GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2013). Isto ocorre porque o P aplicado derivado dos fertilizantes pode ser adsorvido com alta energia de ligação a superfície da fração mineral do solo.

Entretanto a aplicação de doses excessivas de P ao solo reduz a disponibilidade de sítios mais ávidos pelo íon fosfato, fazendo com que esse elemento seja adsorvido em sítios de menor

energia de ligação. Com isso ocorre acúmulo de P em frações lábeis e moderadamente lábeis nas camadas superficiais do solo (GATIBONI et al., 2008; GUARDINI et al., 2012), conseqüentemente provocam aumento do potencial de contaminação ambiental, o que justifica a importância de se utilizar o limite crítico ambiental de P (GATIBONI et al., 2015).

Durante a sequência de extração de P por Hedley, a fração P-NaOH 0,1 M (Tabela 12) está relacionada ao P moderadamente lábil, em razão do NaOH (nesta concentração) atuar principalmente na liberação do P ligado a sesquióxidos de Fe ou Al (HEDLEY et al., 1982; GATIBONI et al., 2013).

Tabela 12 – Fração de fósforo total moderadamente lábil no solo extraído por NaOH 0,1M (mg kg⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférrico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	393	515 B	578 AB	608	$\hat{y} = 402 + 1,491^{**}x$ R ² = 0,96
Dejeto	393	530 B	511 B	561	$\hat{y} = 405 + 1,215^{**}x$ R ² = 0,88
M1	393	486 B	563 AB	685	$\hat{y} = 375 + 1,934^{**}x$ R ² = 0,96
M2	393	771 A	771 A	775	$\hat{y} = 396 + 6,972^{**}x - 0,03^{**}x^2$ R ² = 0,99
Composto	393	564 AB	612 AB	633	$\hat{y} = 392 + 4,072^{**}x - 0,02^{**}x^2$ R ² = 0,99
0,05-0,10 m					
Cama	339	571	549	565	$\hat{y} = 342 + 4,072^{**}x - 0,002^{**}x^2$ R ² = 0,97
Dejeto	339	442	454	577	$\hat{y} = 329 + 1,523^{**}x$ R ² = 0,96
M1	339	411	433	502	$\hat{y} = 335 + 1,065^{**}x$ R ² = 0,99
M2	339	470	604	603	$\hat{y} = 350 + 1,900^{**}x$ R ² = 0,88
Composto	339	537	555	599	$\hat{y} = 365 + 1,763^{**}x$ R ² = 0,91
0,10-0,20 m					
Cama	148	274 AB	274	280	$\hat{y} = 149 + 2,286^{**}x - 0,09^{**}x^2$ R ² = 0,99
Dejeto	148	257 AB	266	263	$\hat{y} = 148 + 2,103^{**}x - 0,009^{**}x^2$ R ² = 0,99
M1	148	199 B	293	300	$\hat{y} = 146 + 1,101^{**}x$ R ² = 0,86
M2	148	250 AB	257	357	$\hat{y} = 143 + 1,348^{**}x$ R ² = 0,97
Composto	148	318 A	334	341	$\hat{y} = 148 + 3,140^{**}x - 0,012^{**}x^2$ R ² = 0,99

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Desta forma, os altos valores de P-NaOH 0,1 M apresentados na Tabela 12 estão relacionados à classe de solo (Nitossolo Vermelho Distroférrico) apresentar 700 g kg⁻¹ de argila (Tabela 1) e teor de ferro entre 180 a 360 g kg⁻¹, que possibilita muitos sítios de adsorção e ocasiona mobilização temporária do P disponível e, conseqüentemente, menor eficiência do P aplicado no sistema solo-planta.

Esta alta capacidade de adsorção do P nesta classe de solo (“poder tampão”), proporcionado pelo teor de Fe, foi relacionada com diferenças pontuais entre fertilizantes para P-NaOH 0,1 M e justifica a semelhança entre as formas solúveis e orgânicas de P aportadas ao sistema, com significância apenas nas menores doses (75% e 100%) que favoreceram a forma solúvel M2 em superfície (0,00 – 0,05 m) e a forma orgânica como composto na dose de 75% na camada de 0,10 – 0,20 m (Tabela 12).

A maior contribuição para incremento da fração P-NaOH 0,1 M no sistema iLP é razão do aumento de doses independente do fertilizante até a profundidade de 0,20 m com comportamentos lineares ou quadráticos intrínsecos de cada fertilizante para cada camada analisada, sendo que apenas M1 manteve comportamento linear crescente nas três camadas (Tabela 12).

A aplicação de fertilizantes orgânicos proporciona o aumento do COT (Tabela 7) no sistema iLP, o qual influencia a distribuição das formas de P, onde os processos químicos envolvidos são relacionados ao bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al, principalmente por compostos carboxílicos e fenólicos presentes na mineralização da MO, que reduzem a adsorção de P (GATIBONI et al., 2013), e também competem com os sítios de adsorção da fração mineral, deslocando parte do P adsorvido nos minerais (ANDRADE et al., 2003), permitindo o aumento do P moderadamente lábil no solo. Além disso, a inclusão de plantas de cobertura, e o uso de fertilizantes orgânicos estimulam a atividade microbiana, o que pode afetar as frações de P no solo e aumentar sua disponibilidade às plantas (BROUWERE et al., 2003; MCDOWELL e STEWART, 2006).

A fração de P extraídas com NaOH 0,5 M (Tabela 13) são atribuídas o poder de extrair o fósforo inorgânico e orgânico química e fisicamente protegidos nas superfícies internas dos microagregados, sendo também considerada como moderadamente lábil no solo (CROSS e SCHLESINGER, 1995).

A aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em sistema iLP elevou os teores de P moderadamente lábil da fração P-NaOH 0,5 M e com significância entre fertilizantes apenas na dose de 75% na camada de 0,00 – 0,05 m com composto superior a cama (Tabela 13). Entre os fertilizantes vale destacar a forma mineral M2 por apresentar os maiores valores de P-NaOH 0,5 M nas dosagens de 150% nas camadas de 0,00 – 0,05 e 0,10 – 0,20 e na 75 e 100% na camada de 0,05 – 0,10 m, resultado que pode ser justificado pelo maior aporte deste elemento no solo quando comparado a seu par a cama e aporte menores dos pares M1/dejeto.

Tabela 13 – Fração de fósforo total moderadamente lábil no solo extraído por NaOH 0,5 M (mg kg⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	256	306 B	360	420	$\hat{y} = 246 + 1,101^{**}x$ R ² = 0,95
Dejeto	256	338 AB	392	385	$\hat{y} = 267 + 0,931^{**}x$ R ² = 0,87
M1	256	351 AB	360	409	$\hat{y} = 262 + 1,011^{**}x$ R ² = 0,98
M2	256	425 AB	468	493	$\hat{y} = 278 + 1,640^{**}x$ R ² = 0,92
Composto	256	467 A	476	483	$\hat{y} = 257 + 3,883^{**}x - 0,020^{**}x^2$ R ² = 0,99
0,05-0,10 m					
Cama	147	407	390	430	$\hat{y} = 150 + 4,362^{**}x - 0,017^{**}x^2$ R ² = 0,97
Dejeto	147	417	428	489	$\hat{y} = 149 + 4,440^{**}x - 0,015^{**}x^2$ R ² = 0,99
M1	147	411	367	435	$\hat{y} = 186 + 1,898^{**}x$ R ² = 0,81
M2	147	471	503	472	$\hat{y} = 147 + 6,419^{**}x - 0,030^{**}x^2$ R ² = 0,99
Composto	147	427	497	480	$\hat{y} = 146 + 5,598^{**}x - 0,020^{**}x^2$ R ² = 0,99
0,10-0,20 m					
Cama	123	173	170	174	$\hat{y} = 172$
Dejeto	123	147	189	183	$\hat{y} = 124 + 0,446^{*}x$ R ² = 0,80
M1	123	146	171	195	$\hat{y} = 119 + 0,492^{*}x$ R ² = 0,96
M2	123	171	160	273	$\hat{y} = 107 + 0,917^{**}x$ R ² = 0,79
Composto	123	234	224	234	$\hat{y} = 124 + 1,933^{**}x - 0,008^{*}x^2$ R ² = 0,97

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão ($*p \leq 0,05$; $**p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Assim como na fração P-NaOH 0,1 M a com P-NaOH 0,5 M obteve os maiores teores de P moderadamente lábil quando foram aplicados fontes minerais em relação às orgânicas na comparação entre pares com o mesmo aporte do nutriente no sistema, e demonstrado em razão do coeficiente angular 1,640/1,101 em M2/cama e 1,011/0,931 M1/dejeto na camada 0,00 – 0,05 m; 6,419/4,362 em M2/cama na camada 0,05 – 0,10 m; 0,917/não significância em M2/cama e 0,492/0,446 em M1/dejeto na camada de 0,10 – 0,20 m (Tabela 13).

Avaliando as frações de P em resposta a adubação com resíduos orgânicos e minerais por oito anos em um Argissolo típico, Couto et al. (2017) observaram que as aplicações promoveram aumento das frações inorgânicas e orgânicas de P extraídas até 0,04 m, com declínio nos teores em profundidade. Assim como ambas as fontes de fertilizantes foram efetivas em acumular P-NaOH 0,5 M, fração que está fisicamente protegida nos microagregados do solo (GUARDINI et al., 2012).

Entre os principais fertilizantes que contribuíram para aumento do fósforo não lábil extraído por HCl vale destacar os que apresentaram maior aporte deste nutriente no sistema representados pelos tratamentos cama/M2 e composto ou na forma inorgânica M1, com comportamento linear crescente para M2 até a 0,20 m, para cama e composto até 0,10 m e para M1 apenas na camada superficial do solo, sendo que não houve diferenças entre fertilizantes na mesma dose (Tabela 14). Estes resultados permitem afirmar que a presença da forma inorgânica e associado ao maior aporte, tanto em fertilizantes orgânicos como minerais, facilitam a ligação com carbonato de cálcio, os quais não estarão disponíveis às plantas em razão da força de ligação do composto inorgânico formado.

Tabela 14 – Fração de fósforo não lábil do solo extraído pela solução com HCl 1M (mg kg^{-1}) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00 - 0,05 m					
Cama	10,8	18,2	33,7	33,8	$\hat{y} = 10,5 + 0,167^{**}x$ $R^2 = 0,83$
Dejeto	10,8	10,2	17,7	16,5	$\hat{y} = 14,8$
M1	10,8	11,6	15,6	21,0	$\hat{y} = 9,3 + 0,068^{**}x$ $R^2 = 0,81$
M2	10,8	13,8	23,8	30,1	$\hat{y} = 8,9 + 0,133^{**}x$ $R^2 = 0,86$
Composto	10,8	21,8	23,7	28,2	$\hat{y} = 11,6 + 0,117^{**}x$ $R^2 = 0,98$
0,05 - 0,10 m					
Cama	7,6	11,9	12,8	14,0	$\hat{y} = 8,0 + 0,044^{**}x$ $R^2 = 0,95$
Dejeto	7,6	9,7	8,7	10,5	$\hat{y} = 9,6$
M1	7,6	6,7	10,0	9,7	$\hat{y} = 8,8$
M2	7,6	9,6	11,4	13,2	$\hat{y} = 7,4 + 0,038^{**}x$ $R^2 = 0,97$
Composto	7,6	12,5	12,3	14,1	$\hat{y} = 8,1 + 0,043^{**}x$ $R^2 = 0,92$
0,10 - 0,20 m					
Cama	6,9	9,8	11,5	10,2	$\hat{y} = 10,5$
Dejeto	6,9	9,2	8,5	10,5	$\hat{y} = 9,4$
M1	6,9	5,7	9,0	8,3	$\hat{y} = 7,7$
M2	6,9	9,4	9,1	12,7	$\hat{y} = 6,6 + 0,036^{**}x$ $R^2 = 0,90$
Composto	6,9	9,4	9,4	8,8	$\hat{y} = 9,2$

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Mesmo com valores bem menores que as demais frações é interessante notar na fração de P com HCl 1M que a aplicação das doses até 150% proporcionaram incremento no teor quando comparado ao tratamento sem aplicação (dose zero) de $10,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de P-não lábil para

33,8; 30,1; 28,2 e 21,0 mg kg⁻¹ em cama, M2, composto e M1 respectivamente, na superfície do solo, e quase dobrar o teor para cama, M2 e composto na camada de 0,05 – 0,10 m (Tabela 14).

O aumento das doses de fertilizantes, independente da forma orgânica ou mineral, bem como do maior ou menor aporte de P no sistema iLP favorece a formação de ligações covalentes deste nutriente com a fração argila do solo. Houve incremento dos teores de P residual, sempre com comportamento linear crescente para todos os fertilizantes até a profundidade de 0,10 m, com exceção para M1 que não apresentou significância na camada superficial e contribuições efetivas para dejetos e M2, mantendo o mesmo comportamento, na camada de 0,10 – 0,20 m (Tabela 15).

Tabela 15 – Fração de fósforo residual do solo (mg kg⁻¹) nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após seis anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação *
	0	75	100	150	
0,00-0,05 m					
Cama	524	536	612	824	$\hat{y} = 416 + 1,935^{**}x$ R ² = 0,72
Dejeto	524	695	780	747	$\hat{y} = 555 + 1,626^{**}x$ R ² = 0,80
M1	524	550	720	731	$\hat{y} = 667$
M2	524	661	667	862	$\hat{y} = 505 + 2,135^{**}x$ R ² = 0,92
Composto	524	569	800	813	$\hat{y} = 505 + 2,109^{**}x$ R ² = 0,76
0,05-0,10 m					
Cama	459	486	596	754	$\hat{y} = 417 + 1,935^{**}x$ R ² = 0,82
Dejeto	459	598	590	679	$\hat{y} = 465 + 1,426^{**}x$ R ² = 0,96
M1	459	544	624	691	$\hat{y} = 451 + 1,582^{**}x$ R ² = 0,97
M2	459	614	622	844	$\hat{y} = 437 + 2,435^{**}x$ R ² = 0,92
Composto	459	568	698	709	$\hat{y} = 463 + 1,794^{**}x$ R ² = 0,89
0,10-0,20 m					
Cama	306	371	377	397	$\hat{y} = 381$
Dejeto	306	290	311	465	$\hat{y} = 266 + 0,950^{**}x$ R ² = 0,72
M1	306	329	354	359	$\hat{y} = 347$
M2	306	417	467	471	$\hat{y} = 321 + 1,166^{**}x$ R ² = 0,90
Composto	306	363	380	452	$\hat{y} = 398$

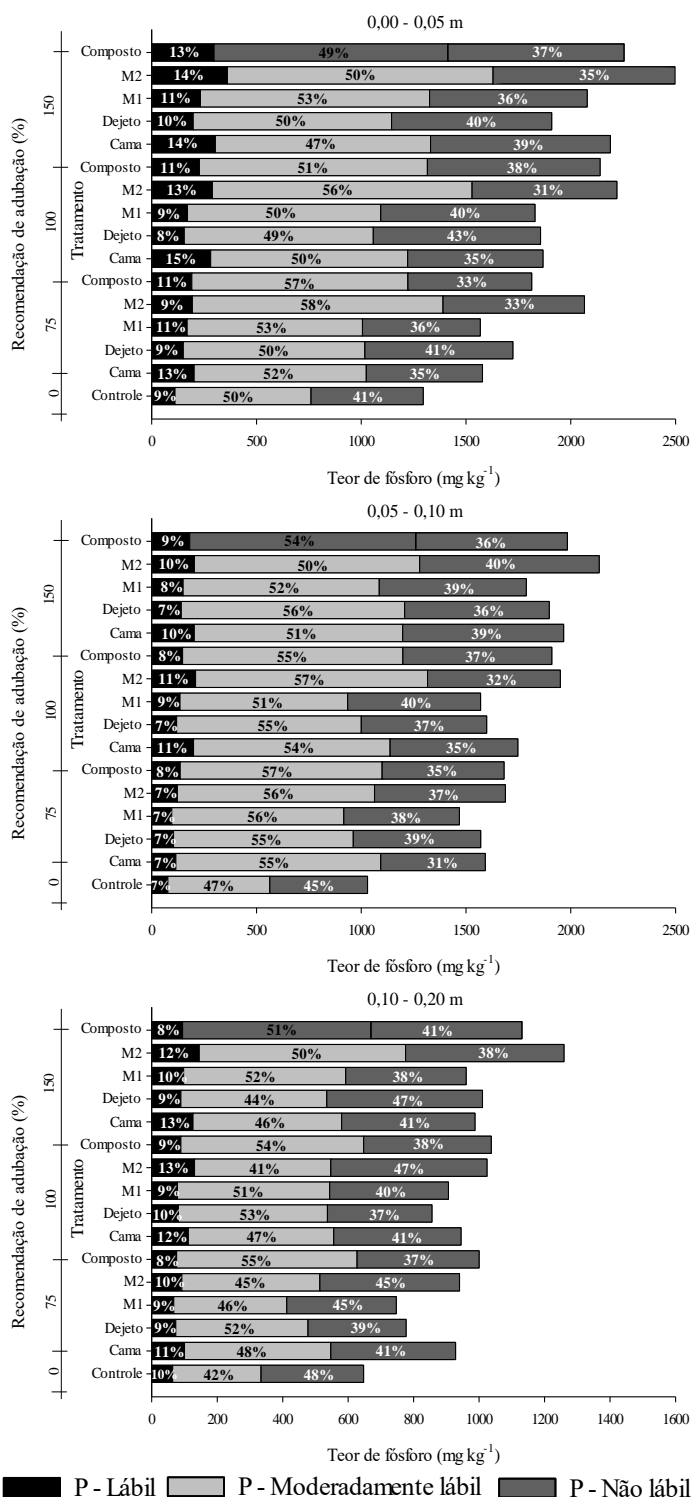
Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Entre os fertilizantes o M2 apresenta o maior coeficiente angular em todas as camadas, permitindo aumento no teor de P residual na dose de 150% em percentuais de 164, 184 e 154% nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente em relação ao tratamento sem adubação (dose 0) (Tabela 15).

Após seis anos de sistema integração lavoura-pecuária e aplicações de doses de fertilizantes orgânicos e minerais houve incremento no teor de P lábil, moderadamente lábil e não lábil (Figura 3), com maior intensidade na camada superficial (0,00 – 0,05 m) e especial ênfase no aumento de P lábil em quase totalidade dos tratamentos.

Figura 3 – Teor das formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis de P (mg Kg^{-1}) e proporção das formas de P (%) após seis anos de aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Na camada superficial, houve aumento do P moderadamente lábil para M2 e composto na dose de 75% de recomendação; e redução do P não lábil quando foram realizados os maiores

aportes de P no sistema, principalmente para cama e seu par mineral M2 e composto em todas as doses (Figura 3). Ainda nesta camada o tratamento M2 com dose de 150% proporcionou o de maior teor de P nas três frações, com valor de P total de 2500 mg kg⁻¹, o qual representa incremento de até 1250 mg kg⁻¹ em relação ao controle.

Na camada de 0,05 – 0,10 m há redução quanto a concentração dos teores de P nas três frações lábeis caracterizada, novamente, com incremento em razão do aporte de P nos sistema, tratamentos que foram superiores ao controle já na dose de 75% e continuam crescente até a dose de 150%, novamente com especial atenção ao maior teor da forma mineral solúvel M2 em 150% (Figura 3). Ainda nesta camada é possível verificar o grande aumento na proporção de P moderadamente lábil e redução do P não lábil em todos os tratamentos.

Já a última camada (0,10 – 0,20 m) segue os mesmos padrões da anterior com as atenções voltadas aos incrementos da fração de P moderadamente lábil e redução da fração de P não lábil e pequeno aumento da fração lábil, com intensidade menor quanto à concentração (Figura 3). Como nas camadas anteriores a forma mineral solúvel M2 na dose de 150% apresentou os maiores teores P nas três frações em razão do maior aporte deste fertilizante (Tabela 2) quando comparado aos pares dejetos/M1, na mesma concentração, porém na forma orgânica, ao seu par cama de aves e, novamente, na forma orgânica ao composto.

De modo geral pode-se perceber o aumento das frações lábil e moderadamente lábil de P no solo após a aplicação de fertilizantes orgânicos ou minerais até 0,20 m, resultados que corroboram com trabalho de Guardini et al. (2012). Em um solo arenoso em Santa Catarina, os autores observaram que aplicações sucessivas durante sete anos de dejetos de suínos ou de cama sobreposta de suíno aumentaram o teor de P até 0,30 m, principalmente em formas lábeis e moderadamente lábeis, além de incremento menor das formas orgânicas lábeis e moderadamente lábeis, principalmente com uso de cama sobreposta. Isto ocorre porque o P aplicado derivado dos fertilizantes orgânicos pode ser adsorvido com alta energia de ligação aos grupos funcionais de superfície da fração mineral do solo.

Entretanto a adição de altas quantidades de P ao solo reduz a disponibilidade de sítios mais ávidos pelo íon fosfato, fazendo com que esse elemento seja adsorvido em sítios de menor energia de ligação. Com isso ocorre acúmulo de P em frações lábeis e moderadamente lábeis nas camadas superficiais do solo (GATIBONI et al., 2008; GUARDINI et al., 2012).

Após seis anos de experimento com aporte contínuo de P no sistema de iLP em razão de doses crescentes de fertilizantes orgânicos ou minerais e de C, houve correlação positiva para todas as frações de C, P e entre elas (Tabela 16).

Entre as correlações que chamaram a atenção entre C × P, vale destaque nas frações HUM e COT em contraste com as frações de P extraído por resina, NaHCO₃ e HCl; AH e AF com o P extraído por NaHCO₃ (Tabela 16). Estes resultados indicam que o aumento das substâncias húmicas pode contribuir para a menor adsorção de fosfatos no solo, aumentando a disponibilidade deste íon na solução do solo, Fontana et al. (2006) encontraram correlação positiva e significativa entre as frações AF, HUM e a soma das frações com fósforo no solo sob diferentes sistemas de cultivos no Cerrado.

Tabela 16 – Correlação de Pearson entre as frações de carbono e fósforo após seis anos de adubação com fertilizantes orgânicos e minerais em sistema iLP.

	AH	AF	HUM	COT	P-RTA	P-NaHCO ₃	P-NaOH 0,1M	P-NaOH 0,5M	P-HCl	P-Residual
AH	-									
AF	0,55**	-								
HUM	0,50**	0,46**	-							
COT	0,47**	0,51**	0,77**	-						
P-RTA	0,55**	0,54**	0,69**	0,65**	-					
P-NaHCO ₃	0,63**	0,57**	0,57**	0,60**	0,82**	-				
P-NaOH 0,1M	0,51**	0,52**	0,53**	0,49**	0,74**	0,73**	-			
P-NaOH 0,5M	0,38**	0,45**	0,43**	0,41**	0,58**	0,64**	0,80**	-		
P-HCl	0,49**	0,47**	0,65**	0,58**	0,74**	0,64**	0,53**	0,44**	-	
P-Residual	0,51**	0,49**	0,52**	0,49**	0,59**	0,63**	0,70**	0,68**	0,40**	-

Legenda – AH= Fração ácido húmico, AF= Fração ácido fúlvico, HUM= Fração húmica, COT= Carbono orgânico total. ** (p ≤ 0,01) com; n= 192.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

No solo o P pode ser encontrado nas formas inorgânicas e orgânicas, as formas inorgânicas (Pi) que compreende o íon fosfato na solução do solo, P estrutural dos minerais primários, todas as formas precipitadas e adsorvidas à oxihidróxidos de Fe e Al ou adsorvidas aos colóides do solo. Já as formas orgânicas (Po) compreendem o P da estrutura dos compostos orgânicos e o P da estrutura ou adsorvido aos resíduos orgânicos e MO do solo (GATIBONI et al. 2013).

O Po é correlacionado positivamente com o teor de CO do solo, e através de sua mineralização e da atividade microbiana no solo, o ortofosfato torna-se disponível as plantas (BOWMAN e COLE, 1978). Nos solos intemperizados e em sistemas naturais, o Po constitui fração importante do P total do solo de 49-64% (BORIE e RUBIO, 2003), que constitui de forma importante na reposição do P lábil e moderadamente lábil, a partir mineralização pela biomassa microbiana, contribuindo de forma decisiva para disponibilidade à planta (GATIBONI et al., 2013).

Entre as frações de C a com maior índice correlação foi observada entre COT e HUM. As correlações das frações de P foi possível identificar altos coeficientes entre P extraído por resina trocadora de ânions (P-RTA) e NaHCO_3 que foi 0,82, NaOH 0,5 e NaOH 0,1 M de 0,80, foram encontradas ainda altas correlações entre o extrator de HCl com P-RTA e P- NaHCO_3 (frações lábeis) e do P-residual com as frações lábeis e o P extraído por NaOH 0,1 e NaOH 0,5 M respectivamente (Tabela 16).

A adubação com fertilizantes orgânicos pode influenciar não somente a dinâmica das frações de P às plantas, mas também incremento na MO (MAFRA et al., 2015), que apresenta compostos como ácido húmico, ácido fúlvico, ácidos graxos, que competem pelos sítios de adsorção evitando a fixação de P aos sesquióxidos de Fe e Al do solo, liberando esse nutriente às plantas (MAFRA et al., 2014).

O uso de fertilizantes orgânicos em longo prazo (111 anos) mostrou-se ser um componente importante para sistemas agrícolas sustentáveis, afetando a dinâmica das formas de P (MOTAVALLI e MILES, 2002). As aplicações promovem o aumento nas formas de P_o , devido ao aumento da atividade microbiana na decomposição da MO do solo, assim como aumento das formas inorgânicas P_i devido ao elevado teor de P_i nos dejetos (GUARDINI et al., 2012), conseqüentemente o P total do solo.

4.3 PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA, BIOMASSA PARTE AÉREA DE AVEIA E TEOR DE FÓSFORO NO TECIDO VEGETAL

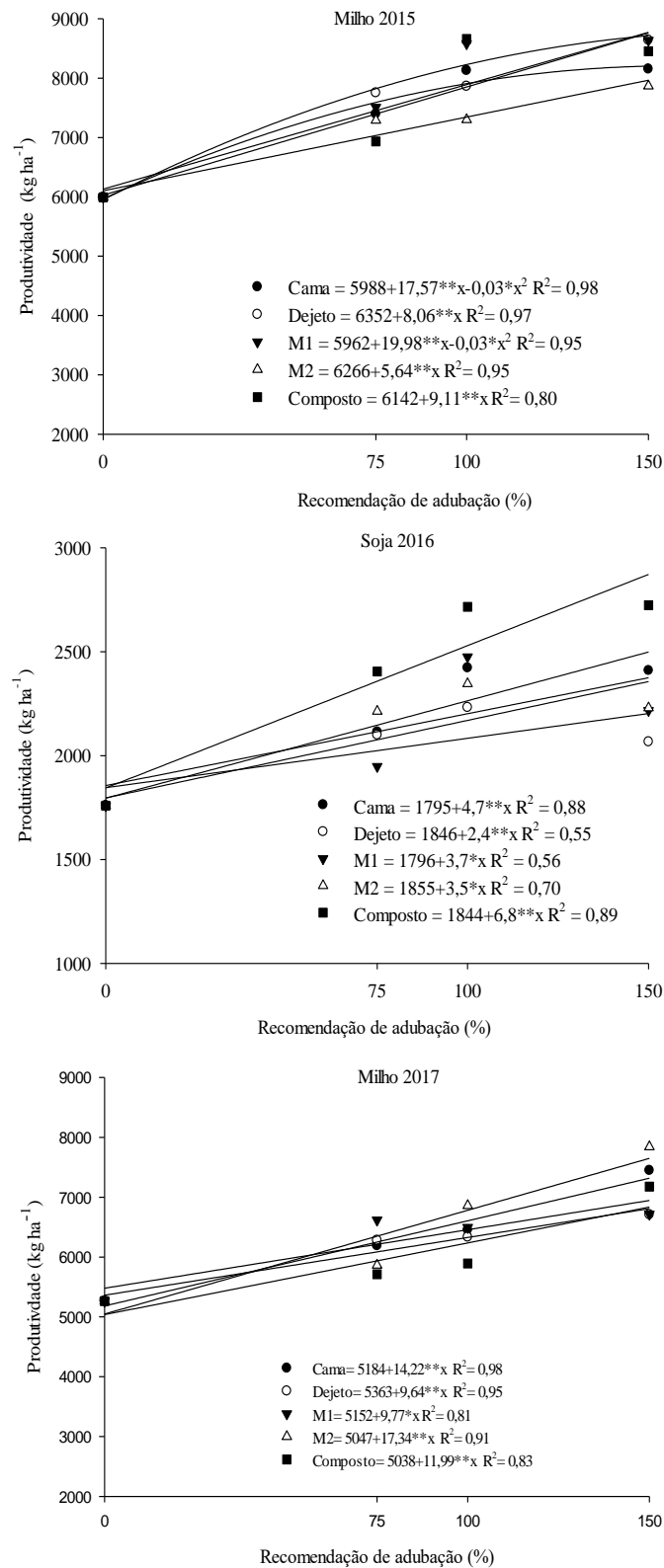
A recomendação de adubação com doses crescentes de fertilizantes orgânicos ou minerais no sistema iLP permitiu elevar a produtividade de milho nos anos 2015 e 2017 e de soja em 2016 (Figura 4). A produtividade agrícola de milho no ano de 2015 demonstrou comportamento quadrático crescente para cama de aves e linear crescente para os demais tratamentos, com a dose de 100% estabelecendo os maiores patamares para composto, M1 e cama. Em 2016 a produtividade de soja em iLP demonstrou comportamento linear crescente para todos os fertilizantes utilizados, com destaque para composto na dose de recomendação de 100 % do K para necessidade desta leguminosa, resultados observados também para os demais fertilizantes nesta mesma dose.

No ano de 2017 a produtividade de milho em iLP demonstrou comportamento linear crescente para todos os tratamentos, sendo a maior produtividade observado em M2, com a recomendação de 150 % de N para alcançar altos rendimentos de milho (Figura 4). Pode-se observar que a produtividade de milho em 2015 foi superior ao observado em 2017 fato este que pode ser justificado pela quantidade de chuva desse ano (Figura 1).

Estes resultados corroboram Hentz et al. (2016) que demonstraram respostas de produtividade de milho em razão de doses de N em razão de fertilizantes orgânicos cama de aves e DS, com eficiência similar entre seus pares minerais. Novakowski et al. (2013) relataram relação direta entre adubação com cama e DS e a produtividade de plantas de milho. Hanish et al. (2009) também relataram efeito positivo da adubação com cama de aviário no incremento da produtividade de milho quando comparada a à adubação de cobertura com ureia e o DS promove o aumento do rendimento de grãos de milho (SCHERER et al., 2010; SARTOR et al., 2012).

Os resultados positivos de produtividade do milho e soja nos três anos agrícolas em sistema de produção iLP permite indicar a necessidade de recomendação de adubação na cultura da soja de 100 %, quando se utilizar composto, M1 e cama e 150% para dejetos e M2. Para milho a indicação é de 150 % para todos os fertilizantes visando altos patamares produtivos, considerando um histórico de aplicação com mais de cinco anos de utilização destas boas práticas de uso de fertilizantes.

Figura 4 – Produtividade de soja e milho (kg ha⁻¹) em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

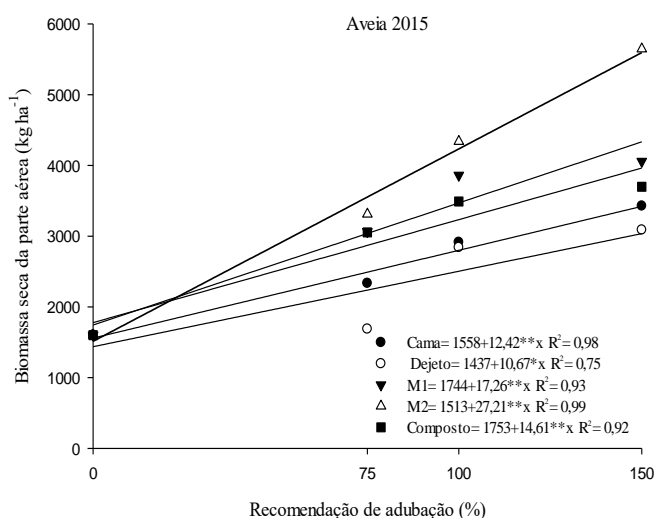


M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejeito. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves. Equações de regressão (*p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01).

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Em 2015 a biomassa seca da parte aérea da aveia em sistema iLP demonstrou comportamento linear crescente para todos os fertilizantes utilizados, com destaque para M2 na dose de 150 % (Figura 5).

Figura 5 – Biomassa seca da parte aérea de aveia (kg ha^{-1}) após seis anos de aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.



M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejeto. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O uso de fertilizantes orgânicos e minerais no sistema de produção iLP alterou o teor de P no tecido vegetal do milho, soja e aveia preta, onde houve relação direta entre esta variável e o aumento das doses. Desta forma, na cultura do milho no ano agrícola de 2015 houve comportamento linear crescente para composto e quadrático crescente para todos os demais fertilizantes (Figura 6). Já a cultura da soja na safra 2016 os fertilizantes Cama, M1 e composto apresentaram comportamento linear crescente e dejeto quadrático crescente. No tecido vegetal de aveia na safra de inverno de 2015 a aplicação do fertilizante cama e composto resultaram no comportamento linear crescente para teor de P, e quadrático para os demais tratamentos (Figura 6).

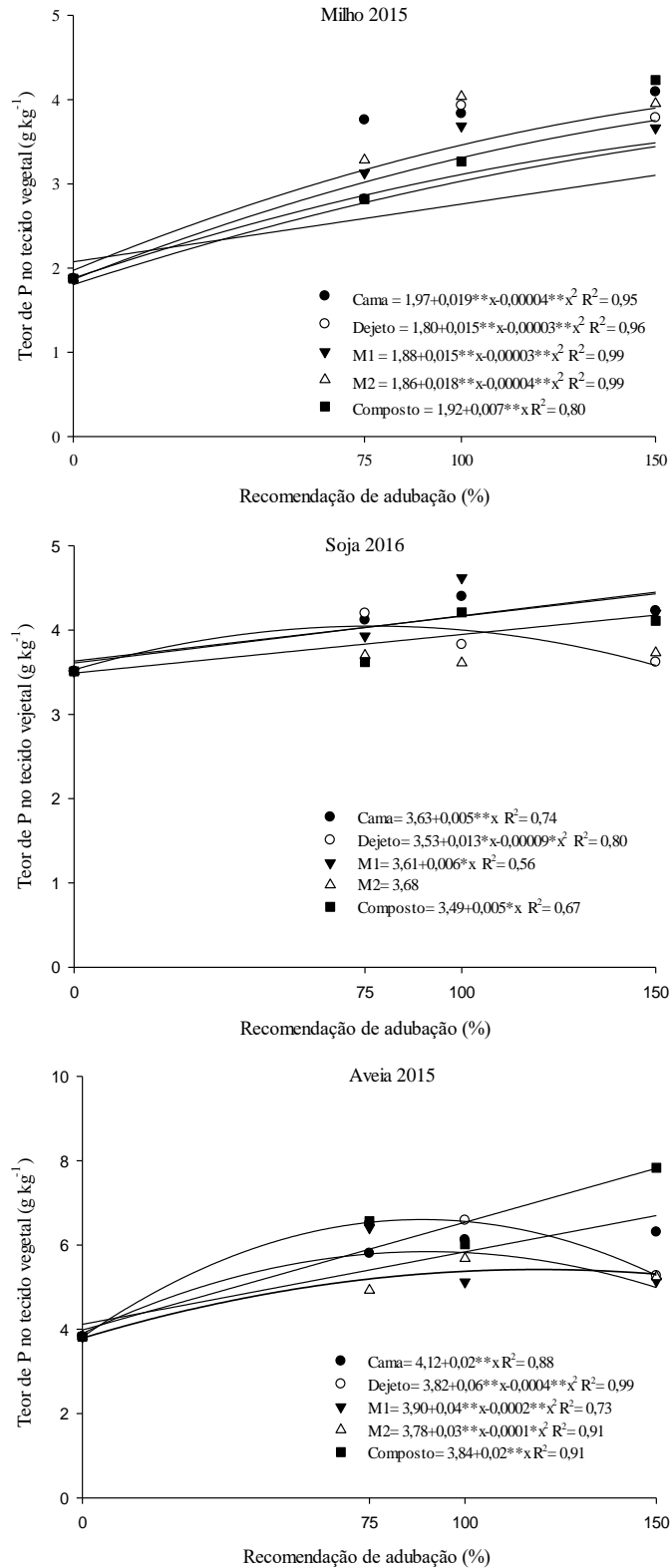
A maior absorção de P pelas plantas em razão das doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais no solo é justificado pela maior disponibilidade de P no solo, principalmente na camada de 0,00 – 0,05 m (Tabela 11), onde geralmente há maior acúmulo de raízes, elevando a absorção de nutrientes.

As plantas podem absorver formas de P além dos ortofosfatos (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{3-}) presentes na solução do solo como: pirofosfato, polifosfato (TURNER et al., 2003),

fosfoesteres; moléculas de produtos da degradação microbiana, vegetal ou da própria matéria orgânica recalcitrante do solo (BRICENO et al., 2004). Desta forma, práticas agrícolas que contribuem para melhorar a eficiência de microrganismos no solo irão influenciar a maior liberação da enzima fosfatase, a qual permitirá maior velocidade de catálise e hidrólise das ligações de éster de fosfato orgânico e, conseqüentemente, o ortofosfato será liberado a partir de compostos orgânicos, condição esta que permite aumentar o P disponível (RAO et al., 2000).

Vale ressaltar que todos os tratamentos, incluindo o controle, demonstram teor de P no tecido vegetal de todas as culturas dentro da faixa de suficiência considerada adequada para cultura (RAIJ et al., 2001), o que permite expressar os seus potenciais genéticos de produção.

Figura 6 – Teor de fósforo (g kg^{-1}) no tecido foliar de milho, aveia preta e soja resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.



M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejeto. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves. Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

5 CONCLUSÃO

Aplicação sucessivas de fertilizantes orgânicos ou mineral durante seis anos de sistema iLP permite elevar de forma intensa as frações de P lábeis e moderadamente lábil até 0,20 m de profundidade e com menor intensidade nas frações não lábeis até 0,10 m.

O aporte de C em razão da aplicação de fertilizantes orgânicos (cama, dejetos e composto) de forma constante durante seis anos em sistema iLP permite elevar o teor de COT, enquanto doses menores de fertilizante mineral (M1) promove a redução na camada superficial do solo.

A fração mais estável representada pela humina permite caracterizar as alterações dos fertilizantes orgânicos na camada superficial do solo. E o ácido húmico permite maior interação para descrever modificações a partir de doses sucessivas de fertilizantes orgânicos ou minerais até 0,20 m de profundidade.

Entre as frações de carbono orgânico com maior contribuição quanto à disponibilidade do P no sistema, vale destacar o HUM e COT que apresentaram respectivamente correlação com as frações lábeis de P e não lábil extraído por HCl; AH e AF que foram relacionadas com o P lábil extraído por NaHCO₃. A prática agrícola para recomendação de adubação com aplicação de fertilizantes orgânicos (cama, dejetos e composto) contribuem nas frações de C, P, suas interações no solo e na produtividade de soja e milho em sistema iLP.

Aplicações sucessivas e com doses crescentes de fertilizantes minerais reduz o valor de pH no solo até a profundidade de 0,20 m após seis anos de condução em sistema iLP.

A produtividade de grãos atingiu o maior valor para cultura do milho na recomendação de adubação de 150% para todos fertilizantes. Para a soja as maiores produtividades foram com M2 e dejetos na dose de 150% e 100% para composto, M1 e cama.

A biomassa seca da parte aérea de aveia foi crescente independente dos fertilizantes aplicados.

O teor de P no tecido vegetal de todos tratamentos incluindo o controle encontraram-se acima da faixa de suficiência para as culturas expressarem seu potencial genético de produção.

REFERÊNCIAS

ABPA, Associação brasileira de proteína animal. Disponível em: <http://abpabr.com.br/setores>. Acessado em: 10 mai. 2017.

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*, 27:1003-1011, 2003.

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. AEACG/Inpag: Ponta Grossa, p. 272-309, 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18.ed. Washington, 1992.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL - AOAC. Official methods of analysis of AOAC international. 17.ed. Washington, AOAC, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, p. 09-26, 1999.

BENITES, V.M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo. Embrapa, Rio de Janeiro, p. 7, 2003(Comunicado Técnico, 16).

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*, v.34, p. 2637-2654, 2013.

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

BORIE, F.; RUBIO, R. Total and organic phosphorus in Chilean volcanic soils. *Gayana Botanica*, v.60, p. 69-78, 2003.

BRICENO, M.; ESCUDEY, M.; GALINDO, G.; BORCHARDT, D.; CHANG, A. Characterization of chemical phosphorus forms in volcanic soils using ^{31}P -NMR spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.35, p. 1323-1337, 2004.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 14, p. 319-329, 1982.

BROUWERE, K.; THIJS, A.; HENS, M.; MERCKX, R. Forms and bioavailability of soil phosphorus in temperate forests in southern Chile and Flanders. *Gayana Botanica*, v.60, p.17-23. 2003.

CAETANO, J.O.; BENITES, V.M.; SILVA, G.P.; SILVA, I.R.; ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI, Filho A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.37, p. 1245-1255, 2013.

CAIONE, G.; PRADO, R.M.; CAMPOS, C.N.S.; RODRIGUES, M.; PAVINATO, S.; AGOSTINHO, F.B. Phosphorus fractionation in soil cultivated with sugarcane fertilized by filter cake and phosphate sources. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2015.

CASSOL, P.C.; COSTA, A.C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C.M.; ERNANI, P.R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.36, p.1911-1923, 2012.

CLAESSEN, M.E.C, organizador. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. p.212, 1997.

CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v.139, p. 689-699, 2010.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; TU, S.; SNYDER, C.S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: An update review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.89, p. 229-255, 2011.

CONDON, L. M.; GOH, K.M. Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zealand. *Journal of Soil Science*, v. 40, p. 383-395, 1989.

CORRÊA, J.C.; GROHSKOPF, M.A.; REBELLATTO, A.; RIGO, A.Z.; COLDEBELLA, A. Adubação com cama de aves em milho de alto rendimento tendo como critério o nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2017.

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

COUTO, R.R.; FERREIRA, P.A.A.; CERETTA, C.A.; LOURENZI, C.R.; FACCO, D.B.; TASSINARI, A.; PICCIN, R.; CONTI, L.; GATIBONI, L.C.; SCHAPANSKI, D.; BRUNETTO, G. Phosphorus fractions in soil with a long history of organic waste and mineral fertilizer addition. Bragantia, Campinas, v. 76, n.1, p.155-166, 2017.

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

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2. Ed. p. 256, 2016.

FANCELLI, A.L. Milho. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S. (Ed.). Boas práticas para o uso de fertilizantes. Piracicaba: IPNI, p.39-93, 2010.

FATMA - FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Instrução Normativa para licenciamento ambiental. FATMA: Instrução normativa nº 11, de 13 de dez. 2004. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acessado em: 10 out. 2016.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.847-853, 2006.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. Revista Brasileira Ciência do Solo, v.32, p.1753-1761, 2008.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R. (Eds.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 141-187, 2013.

GATIBONI, L.C.; SMYTH, T.J.; SCHMITT, D.E.; CASSOL, P.C.; OLIVEIRA, C.M.B. Soil phosphorus thresholds in evaluating risk of environmental transfer to surface waters in Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.1225-1233, 2015.

GRAVE, R.A.; NICOLOSO, R.S.; CASSOL, P.C.; AITA, C.; CORRÊA, J.C.; COSTA, M.D.; FRITZ, D.D. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. *Soil and Tillage Research*, v.146, p.184-192, 2015.

GROHSKOPF, M.A.; CASSOL, P.C.; CORREA, J.C.; MAFRA, M.S.H.; PANISSON, J. Organic nitrogen in a Typic Hapludox fertilized with pig slurry. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.1, p.127-139, 2015.

GUARDINI, R.; COMIN, J.J.; SCHMITT, D.E.; TIECHER, T.L; BENDER, M.A.; 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 Agroecosystems*, v.93, p. 215-225, 2012.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008.

HANISH, A.L.; FONSECA, J.A.; ALMEIDA, E. Efeito do uso de diferentes estratégias de manejo agroecológico no desempenho produtivo da cultura do milho. *Revista Brasileira de Agroecologia*. v.2, p.1631-1634, 2009.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, v.46, p.970-976, 1982.

HENTZ, P.; CORREA, J.C.; FONTANELI, R.S.; REBELATTO, A.; NICOLOSO, R.S.; SEMMELMANN, C.E.N. Poultry litter and pig slurry applications in an integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, e0150072, 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L.E. Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure. *Canadian Journal of Soil Science*, v.85, p.75-87, 2005.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.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*, v.4, p.96-105, 2012.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. DA.; TRENTIN, G.; GIROTTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.35, p.1827, 2011.

LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; GIROTTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrientes em camadas de solo submetido a sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos e sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p.157-167, 2013.

LÜDTKE, A.C.; DICK, D.P.; AITA, C.; PAVAN, B.; MOROSINO, L.; DONEDA, A.; CANTÚ, R.R. Organic matter and humic fractions of a Haplic Acrisol as affected by composted pig slurry. *Química Nova*, v. 39, p. 14-18, 2016.

MAFRA, M.S.H.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; CORREA, J.C.; GROHNSKOPF, M.A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, p.630-638, 2014.

MAFRA, M.S.H.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; GROHNSKOPF, M.A.; ANDRADE, A.P.; RAUBER, L.P.; FRIEDERICHS, A. Organic carbon contents and stocks in particle size fractions of a Typic Hapludox fertilized with pig slurry and soluble fertilizer. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1161-1171, 2015.

MCDOWELL, R.W.; STEWART, I. The phosphorus composition of contrasting soils in pastoral, native and forest management in Otago, New Zealand: sequential extraction and ^{31}P NMR. *Geoderma*, v.130, p.176-189, 2006.

MIOLA, G. R. Extração de P, K, Ca, e Mg do solo por diferentes métodos e avaliação da disponibilidade de P às plantas. 1995. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.

MOTAVALLI, P.P.; MILES, R.J. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. *Biology and Fertility Soils*. v.36, p.35-42, 2002.

MOREIRA, F.M.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, p.625, 2002.

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

NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.32, p.2425-2433, 2008.

NOVAKOWISKI, J.H.; SANDINI, I.E.; FALBO, M.K.; MORAES, A. Fertilization with broiler litter in the production of organic corn in integrated crop-livestock. *Semina: Ciências Agrárias*, v.4, p.1663-1672, 2013.

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

PARENT, L.E.; KHIARI, L.; PELLERIN, A. The P fertilization of potato: Increasing agronomic efficiency and decreasing environmental risk. *Acta Horticulturae*, v.627, p.35-41, 2003.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p

RAO, M. A.; VIOLANTE, A.; GIANFREDA, L. Interaction of acid phosphatase with clays, organic molecules and organo-mineral complexes: kinetics and stability. *Soil Biology and Biochemistry*, v.32, p. 1007-1014, 2000.

RAUBER, L.P.; PICCOLLA, C.D.; ANDRADE, A.P.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, A.L.; CORRÊA, J.C.; ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandudox fertilized with pig slurry and poultry litter. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.36, p.1323-1332, 2012.

RHEINHEIMER, D.S. Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 210p. (Tese de Doutorado).

REBELATTO, A. Avaliação agrônômica de fertilizantes sólidos e fluidos a base de dejetos de suínos e aves. 2013. 127f. Tese. 116 f (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2013.

RESENDE, A.V.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; LACERDA, J. J. J. Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para a alta produtividade do milho no Brasil Central. *Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica 181*, p.12, 2012.

ROSSET, J.S.; LANA, M.C.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; RAMPIM, L.; SARTO, M.V.M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.1529-1538, 2016.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S.; BIGOLIN, P. E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.661-669, 2012.

SCHERER, E.E.; NESI, C.N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L.I. Animal-Based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. *Scientia Agricola*, v.63, p. 194-209, 2006.

SILVA, L.S.; GATIBONI, L.C.; ANGHINONI, I.; SOUZA, R.O. eds. Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul - [s. l.]: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, p. 376, 2016.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A.; ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, Embrapa-CNPT, p. 100, 1987.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; MORAES, J.C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of no-tillage. *Agronomie*, v.22, p.755-775, 2002.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGHETTI, M.H.; CAO, E.G. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.79-88, 2010.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2. ed. John Wiley, New York, USA. 496 p. 1994.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, p. 174, 1995.

TURNER, B.L.; CADE-MENUN, B.J.; WESTERMANN, D.T. Organic phosphorus composition and potential bioavailability in semi-arid arable soils of the western United States. *Soil Science Society American Journal*, v.67, n.4, 1168-1179, 2003.

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

APÊNDICE

Apêndice A – Forma ilustrativa do fracionamento químico de P da metodologia descrita por Hedley et al. (1982) com modificações propostas por Condrón e Goh, (1989) e adaptações descritas por Gatiboni et al. (2013).

