

ADAPTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA COMPOSTAGEM LAMINAR AO PLANTIO DIRETO

*Adaptation of the laminar composting principles to no-tillage*Renato Yagi¹¹ Pesquisador – Instituto Agrônômico do Paraná, e-mail: ryagi@iapar.br

Artigo enviado em 08/05/2017, aceito em 06/08/2017 e publicado em 20/12/2017.

Resumo: A compostagem laminar é uma técnica usada particularmente para a conversão agroecológica de sistemas de produção hortícola e de fruteiras. Com o objetivo de se avaliar o princípio desta técnica às condições de um plantio direto de produção de milho silagem e feijão, foram avaliados em um delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4 com 4 repetições, 2 culturas de inverno (aveia-preta e aveia-preta com ervilhaca peluda) e 4 doses de cama de aviário (0, 8, 16 e 24 Mg ha⁻¹), sobre as produtividades de matérias verde e seca de milho silagem planta inteira, de grãos de feijão “da seca” e sobre atributos químicos de um Cambissolo Háplico de textura franco-argilosa (0 a 0,1 m). O adubo orgânico foi aplicado a lanço sobre as plantas de cobertura de inverno que posteriormente foram trituradas por meio de triturador horizontal, com o intuito de se misturar e incorporar adubo e restos culturais sobre a superfície do solo. Incorporações de doses de cama de aviário com resíduos triturados de aveia-preta e de aveia-preta mais ervilhaca peluda proporcionam rendimentos crescentes de matérias verde e seca de milho silagem planta inteira em solo de fertilidade alta. A compostagem laminar com cama de aviário e resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda aumenta os teores de C orgânico e de CTC da camada superficial do solo. A incorporação de cama de aviário com resíduos triturados de aveia-preta mais ervilhaca peluda ameniza o acúmulo de P do solo.

Palavras-chave: Cama de aviário. Adubação orgânica. Adubo verde. *Avena strigosa* Schieb. *Vicia villosa* Roth

Abstract – Laminar composting is a technique particularly used for the agroecological conversion of horticultural production systems. In order to evaluate the applicability of this technique under no-tillage production of corn silage and beans, a randomized complete block design was used, in a 2x4 factorial scheme with 4 replications. Two winter crops (black oats and black oats with hairy vetch), 4 poultry litter rates (0, 8, 16 and 24 Mg ha⁻¹) were evaluated, on yields of green and dry matter of corn, whole plant silage, "dry" bean grains and on chemical attributes of an Inceptisol of loamy clay texture (0 to 0.1 m). The organic fertilizer was spread onto the winter cover crops, crushed afterwards by means of a horizontal crusher, in order to mix and incorporate organic residues on the soil surface. Incorporations of poultry litter doses with black oats and black oats plus hairy vetch provided increased yields of fresh forage and whole plant maize for silage dry matter in high fertile soil. Laminar composting with poultry litter and residues of black oats plus hairy vetch increased the organic C and cation exchange capacity levels of the topsoil. The incorporation of poultry litter with residues of black oats plus hairy vetch enhanced the P accumulation of the soil.

Keywords – Poultry litter. Organic fertilizing. Green manure. *Avena strigosa* Schieb. *Vicia villosa* Roth

INTRODUÇÃO

Na região centro-sul do Paraná, dos cerca de 92% de agricultores familiares 79% produzem milho e 72% feijão, e os menos capitalizados são os mais adeptos às práticas agroecológicas (ASSIS; ROMEIRO, 2005). Ademais, conforme Kiota e Gomes (1999), a agricultura

familiar é prejudicada com o modelo de desenvolvimento agrário vigente, procurando agregar valores aos cultivos orgânicos de milho, soja e feijão em busca de sua autonomia (KIYOTA; GOMES, 1999).

Embora uma mera substituição de insumos não seja o objetivo principal dos princípios agroecológicos de produção, ela pode diminuir custos e

umentar a rentabilidade de agricultores familiares, proporcionando sustentabilidade financeira aos seus agronegócios. Para o cultivo de milho, a substituição de ureia em cobertura pela adubação de cama de aviário na cultura antecessora de aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb.) proporcionou aumentos ($P < 0,05$) na produtividade de grãos e também na renda líquida da lavoura (BULEGON et al., 2012). Para a produção de matéria seca da parte aérea, a substituição de metade do N mineral como cama de aviário resultou em produtividade semelhante ($P > 0,05$) à adubação com 100% de N mineral (CHEEMA et al., 2010). Para a produção de milho silagem planta inteira, o aumento da aplicação de 3 para 6 t ha⁻¹ de cama de aviário a lanço proporcionou 74,3% de aumento ($P < 0,05$) na produtividade de matéria verde da cultura (NOCE et al., 2014).

Para a cultura do feijão, aumentos ($P < 0,05$) em produtividades de grãos foram obtidos com adubação com cama de aviário, em doses de 8 a 12 t ha⁻¹ em cultura antecessora de aveia-preta mais ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e em doses de 4 a 12 t ha⁻¹ aplicadas, metade nestas culturas de inverno e metade na cultura do feijão, não havendo diferenças ($P > 0,05$) entre estas doses e épocas de aplicação do adubo orgânico (PARIZOTTO; GONÇALVES; BOFF, 2016).

Para a chamada fase de transição agroecológica, a compostagem laminar foi proposta para recuperação da fertilidade do solo, sendo caracterizada pela produção de composto orgânico no local de cultivo de hortaliças e fruteiras, o que acarreta em economia de mão-de-obra, aproveitamento de chorume produzido e controle de plantas daninhas (SCHWENGBER et al., 2007). Um composto orgânico proveniente de cama de aviário possui concentrações maiores de nutrientes em relação ao adubo orgânico não compostado, além de poder incrementar mais os teores de matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions do solo (FARIDULLAH et al., 2015). Com a compostagem de cama de aviário menos P se torna disponível para as plantas em relação ao adubo não compostado, o que pode em princípio impedir a precipitação deste elemento com os colóides minerais do solo quando estes adubos são aplicados na superfície do solo (MOTTIN et al., 2015).

A gestão integrada da fertilidade do solo com fontes diversas de nutrientes, esterco, compostos orgânicos, adubos verdes e fertilizantes minerais, é mais favorável para o balanço estequiométrico de entradas e saídas de N e P do sistema, incrementando a eficiência do uso do P e diminuindo a aplicação excessiva deste nutriente (MALTAIS-LANDRY et al., 2016). Acúmulos

de P no solo com a aplicação de cama de aviário não foram minimizadas com o cultivo de ervilhaca peluda, e também não afetou ($P > 0,05$) as produtividades subsequentes de milho doce, porém, não há evidências de interações negativas entre estes dois insumos (ALSUP; KAHN; PAYTON, 2002). Com relação à gestão integrada do N orgânico, aumentos ($P < 0,05$) nas produtividades de grãos (18,4%), biomassa (22,3%) e absorção de N (68,2%), mas também de nitrato (NO₃⁻) na profundidade de 0 a 30 cm do solo (50,0%), foram observados com a aplicação de cama de aviário após cultivo de ervilhaca peluda em relação à aplicação do adubo orgânico sem o cultivo anterior da fabaceae (SPARGO et al., 2016).

O objetivo foi avaliar a aplicação dos princípios da compostagem laminar no manejo da aveia-preta e no manejo do consórcio da aveia-preta com ervilhaca peluda, nas produtividades de milho silagem e feijão e em atributos químicos do solo no plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na Estação Experimental da Lapa-PR (25°46'11"S; 49°42'57"W; altitude de 908 m), pertencente ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), clima cfb conforme classificação de Köppen-Geiger, no período de maio de 2015 a maio de 2016 (Figura 1). O solo da área experimental (1.100 m²; relevo plano a suave-ondulado com menos de 5% de declividade), um Cambissolo Háplico distrófico de textura franco-argilosa, foi amostrado (0 - 0,2 m) a partir de 20 amostras simples por amostra composta e analisado química (PAVAN et al., 1992) e fisicamente (EMBRAPA, 1997). Os resultados foram: pH (CaCl₂) = 5,3; P (Mehlich-1) = 30,7 mg dm⁻³; C = 23 g dm⁻³ (39,6 g dm⁻³ de matéria orgânica do solo, considerando fator de van Bemmelen); K = 0,59 cmol_c dm⁻³; Ca = 9,4 mol_c dm⁻³; Mg = 3,6 cmol_c dm⁻³; CTC = 18,9 cmol_c dm⁻³; V% = 72%; argila = 370 g kg⁻¹; silte = 207 g kg⁻¹ e areia = 423 g kg⁻¹.

Foi utilizado delineamento em blocos ao acaso (DBC) com 4 repetições. Foram empregadas duas culturas de cobertura de inverno, aveia-preta cv. IAPAR-61 Ibiporã e aveia-preta com ervilhaca peluda, associadas a quatro doses de cama de aviário, 0, 8, 16 e 24 t ha⁻¹. Para avaliação das culturas de cobertura de inverno foi considerado DBC com 2 tratamentos e 16 repetições, e com as adubações orgânicas com cama de aviário, DBC em esquema fatorial 2 x 4. O adubo orgânico foi obtido de aviário da região de Ponta Grossa-PR, sendo proveniente de 16 lotes de aves, o

qual foi caracterizado quimicamente (TEDESCO et al., 1995) e apresentou as seguintes características (em massa seca): C = 28,2 g kg⁻¹; N = 25,2 g kg⁻¹; P = 11,8 g kg⁻¹; K = 33,7 g kg⁻¹; Ca = 48,1 g kg⁻¹; Mg = 17,8 g kg⁻¹; Umidade = 15,6%. Cerca de 15 dias após preparo do solo com grades aradora e niveladora, em 03/06/2015, as plantas de cobertura de inverno foram semeadas a lanço nas respectivas parcelas nas doses de 60 kg ha⁻¹ de sementes de aveia-preta e de 30 e 25 kg ha⁻¹ de sementes de aveia-preta (55%) e ervilhaca peluda (45%), respectivamente. Em seguida, as sementes foram incorporadas com grade niveladora leve fechada, típico para os cultivos de plantas de cobertura de inverno ou de pastagens por agricultores familiares na Região Centro-Sul do Paraná.

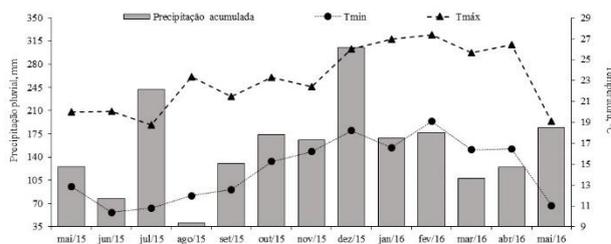


Figura 1. Precipitações pluviométricas mensais acumuladas e temperaturas mínimas (Tmin) e máximas (Tmáx) no decorrer do período experimental. Lapa-PR.

O tamanho das parcelas foi baseado na cultura subsequente de milho silagem planta inteira, composta por 4 linhas de 7 m cada, espaçadas de 0,9 m, com 25,2 m² cada. Foram utilizados espaçamentos transversais de 2,0 m entre blocos e longitudinais de 0,5 m entre parcelas e de 3,0 m dividindo 4 parcelas em cada lado, para facilitar trânsitos de maquinários para trituração de resíduos, pulverizações e colheitas e também para se impedir eventuais contaminações entre parcelas com resíduos orgânicos. O experimento foi conduzido em condições ditas convencionais de cultivo, porém com uso reduzido de agroquímico recomendado para as culturas para se isolar o efeito dos tratamentos. No decorrer da experimentação foi utilizada somente Deltametrina (0,4 L ha⁻¹) para controle de pragas.

Após 84 dias das semeaduras das culturas de cobertura de inverno, foram feitas amostragens de suas biomassa coletando-se em três pontos aleatórios por parcela, quadrantes de 0,25 m² que foram devidamente misturados. A partir de cerca de 25% do peso da matéria verde da parte aérea de cada amostra homogeneizada de

0,75 m², foram coletadas subamostras para estimativas das massas secas das partes aéreas das culturas de inverno, após secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada de ar a cerca de 65 °C.

Em 06/10/2015, no estádio de grão leitoso da cultura de aveia-preta e de enchimento de grãos da ervilhaca peluda, foram feitas as aplicações das doses de cama de aviário sobre as plantas, a lanço, nas respectivas parcelas. Em seguida, foi efetuado manejo mecânico com triturador de resíduos (triton®) com largura de 1,80 m e regulado a uma altura de corte de cerca de 15 cm, de modo a não haver mobilização do solo. Com este manejo de aplicação do adubo orgânico sobre as plantas de cobertura de inverno e posterior operação de trituração de palha, ambos os resíduos foram incorporados sobre a superfície do solo. Após cerca de três semanas, em 28/10/2015, e sem revolvimento do solo, foi realizada semeadura direta de milho AG 5011, híbrido duplo precoce, visando população de plantas de 55.000 plantas ha⁻¹, após desbaste. A colheita foi realizada em 27/01/2016, 109 dias após a semeadura, conforme critério visual citado por LUGÃO et al. (2011), com a consistência dos grãos variando de farináceo para farináceo-duro. Foram coletadas 40 plantas nas 2 linhas centrais menos 0,5 m de cada extremidade, que foram processadas em máquina ensiladeira e pesadas para a estimativa das produtividades de matéria verde de milho silagem planta inteira. Amostras trituradas de matéria verde foram subamostradas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a cerca de 65 °C até peso constante, para estimativas das produtividades de massas secas de milho silagem planta inteira.

Em seguida, em 24/02/2016, foi realizada semeadura direta de feijão cv. IPR Tangará, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m perfazendo 8 linhas de 5 m cada, visando população de 240.000 plantas ha⁻¹. Em 25/05/16 foram colhidas as 4 linhas centrais menos 0,5 m da extremidade de cada parcela, padronizando-se posteriormente o teor de água nos grãos a 13% para estimativa das produtividades de grãos da cultura. Após a colheita do feijoeiro, foram realizadas amostragens de solo (0 a 0,1 m) coletando-se 15 amostras simples por amostra por parcela com auxílio de trado calador. As amostras de solo foram secas ao ar e analisadas quimicamente quanto a pH em CaCl₂, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e acidez potencial (H+Al) e calculadas CTC potencial e índice de saturação por bases (V%) (PAVAN et al., 1992).

Para avaliações das matérias verdes das partes aéreas das plantas de cobertura de inverno, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade considerando-se DBC com 2

tratamentos e 16 repetições. Para as produtividades de matérias verdes e secas de milho silagem planta inteira, de grãos de feijão e para os atributos químicos do solo, foram realizadas análises de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, comparando-se as interações ($P < 0,25$) e os efeitos das culturas de inverno em cada dose de cama de aviário por meio de teste de Tukey ($P < 0,05$), conforme recomendado por Percin e Carnelutti Filho (2008). O efeito dos fatores quantitativos (doses de cama de aviário) foram avaliados mediante regressões polinomiais a 5% e a 1% de probabilidade em cada cultura de cobertura de inverno, de aveia-preta e de aveia-preta com ervilhaca peluda. Para auxiliar na explicação de determinados resultados, coeficientes de correlação de Pearson ($P < 0,05$) foram calculados entre os atributos químicos do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Produtividades das culturas

A cultura da aveia-preta e o consórcio aveia-preta mais ervilhaca peluda produziram 26,3 Mg ha⁻¹ e 24,8 Mg ha⁻¹ de MVPA, respectivamente, e não se diferenciaram ($P > 0,05$). Já as produtividades de MSPA nestes tratamentos se diferenciaram ($P < 0,05$), produzindo 5,1 Mg ha⁻¹ no cultivo de aveia-preta e 3,7 Mg ha⁻¹ no cultivo consorciado, resultando em uma diferença de 28,0% em favor do cultivo solteiro da gramínea (Figura 2). As densidades de semeadura de aveia-preta, com 60 kg ha⁻¹ no cultivo solteiro e 30 kg ha⁻¹ no cultivo consorciado, e as próprias produtividades de cada cultura de cobertura de inverno, notadamente maiores com a poaceae, podem justificar as maiores produtividades no cultivo solteiro em relação ao consorciado.

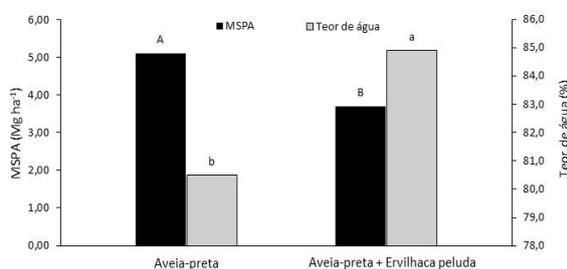


Figura 2. Produtividades e teores de água de matéria(s) seca(s) de parte(s) aérea(s) (MSPA) de culturas de cobertura de inverno. Letras maiúsculas comparam produtividades de MSPA's e letras minúsculas comparam teores de água em matérias verdes de partes aéreas das culturas de inverno pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com a taxa de 80 kg ha⁻¹ de sementes, cultivos de aveia-preta e de proporções de 50% de aveia-preta e de 50% de ervilhaca comum (*V. sativa* L.) não resultaram em diferenças ($P < 0,05$) nas produtividades de MSPA entre cultivos aveia-preta e consorciados de aveia-preta com ervilhaca comum, colhidas em estágio de florescimento (HEINRICHS et al., 2001). No entanto, os mesmos autores observaram que coletas de MSPA em parcelas com aveia-preta e com aveia-preta mais ervilhaca peluda, após 180 dias de manejo com grade niveladora, indicaram redução de 48,6% ($P < 0,05$) no tratamento com gramínea mais leguminosa em relação às parcelas cultivadas com aveia-preta somente.

Houve aumentos lineares ($P < 0,01$) nas produtividades MVPA e MSPA de milho silagem planta inteira em função das doses de cama de aviário incorporadas à ambas as coberturas de inverno (Figura 3), havendo interação ($P < 0,25$) para as produtividades de MSPA. Neste caso, foi observada diferença ($P < 0,05$) entre as culturas de cobertura de inverno associadas à maior dose de cama de aviário incorporada, de 24 Mg ha⁻¹ (Figura 3b).

Sem cama de aviário, as produtividades de MVPA e de MSPA de milho silagem não se diferenciaram com os resíduos picados das culturas de cobertura de inverno ($P > 0,05$), resultado este que se repetiu até a dose de 16 Mg ha⁻¹ de cama de aviário (Figura 3) e que podem estar associados à imobilização microbiana do N do adubo orgânico. Resultados semelhantes foram obtidos por Heinrichs et al. (2001) e Giacomini et al. (2003), em que as produtividades de MSPA e/ou grãos de milho não diferiram ($P < 0,05$) entre cultivos antecessores de aveia-preta e de aveia-preta com ervilhaca comum em proporções próximas a deste trabalho.

Em relação às respectivas testemunhas, sem aplicação de cama de aviário e com a cultura de inverno correspondente, a dose de 24 t ha⁻¹ de cama de aviário incorporada com 26,3 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia-preta resultou em aumento de 2,8 Mg ha⁻¹ (56,0%) de MSPA de milho silagem planta inteira, enquanto a incorporação desta dose de cama de aviário com 24,8 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda resultou em incremento de 5,1 Mg ha⁻¹ (103,7%). Assim, os teores iniciais de P e K do solo da área experimental, classificados como altos para o cultivo de milho silagem em solo com mais de 360 g kg⁻¹ de argila (YAGI; FIDALSKI, 2011), não foram restritivos para os aumentos lineares observados de MVPA e MSPA da cultura.

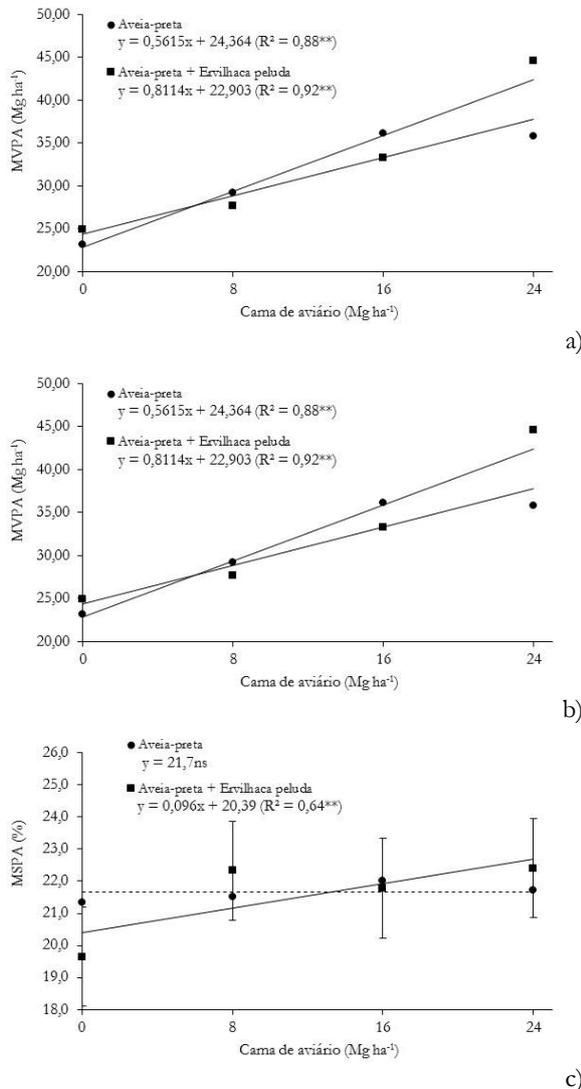


Figura 3. Produtividades de matérias verde (MVPA) (a) e seca (MSPA) (b) e teores de MSPA (c) da parte aérea de milho silagem planta inteira em função de doses de cama de aviário, incorporadas com resíduos de culturas de cobertura de inverno. **, ns: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Barras horizontais indicam diferença mínima significativa (DMS; 0,05%) entre MSPA's das culturas de cobertura de inverno em cada dose de cama de aviário.

Em solo pastejado ou não com ovinos em sistema de integração lavoura-pecuária, houve respostas quadráticas das produtividades de milho cultivado em sistema orgânico à aplicação de cama de aviário, com respectivas produtividades máximas/doses de máxima eficiência técnica de 10.931 kg ha⁻¹/12 Mg ha⁻¹ e de 10.354 kg ha⁻¹/9 Mg ha⁻¹ (NOVAKOWSKI et al.,

2013). Aumento ($P < 0,05$) de MVPA de milho silagem, com o aumento da dose de cama de aviário de 3 para 6 Mg ha⁻¹, também foi acompanhado de aumentos ($P < 0,05$) de matéria verde sem espigas (63,9%) e de espigas (110,6%) de milho BRS 1030 (NOCE et al., 2014). Na maior dose de cama de aviário, de 24 Mg ha⁻¹, a produtividade de MSPA foi 29,3% (2,3 Mg ha⁻¹) maior ($P < 0,05$) com a incorporação do adubo com aveia-preta mais ervilhaca peluda do que com aveia-preta somente (Figura 3b).

Assim, as diferenças em produtividades de MSPA de milho silagem planta inteira entre as culturas de inverno incorporadas com a maior dose de cama de aviário avaliada (Figura 3c) podem ser justificadas pela relação C/N mais estreita do consórcio, que quando associada à maior dose de cama de aviário favoreceu a mineralização dos nutrientes contidos no adubo orgânico, assim como a manutenção do amônio (NH₄⁺) e a retenção do N na camada superficial do solo. Resultados indicam que cama de aviário peletizada associada a resíduos de centeio (*Secale cereale* L.) aumentam a persistência dos materiais orgânicos e diminuem a liberação de N (POFFENBARGER et al., 2015). Segundo os mesmos autores, este adubo orgânico quando associado a resíduos de ervilhaca peluda diminuíram a persistência do material orgânico e aumentaram a liberação de N, e quando os dois restos culturais foram associados ao adubo orgânico, ocorreu persistência e liberação mediana em relação aos restos culturais isolados.

A aplicação de cama de aviário sobre a superfície do solo favorece a manutenção do N na forma de NH₄⁺ em relação à incorporação do adubo orgânico no solo, em razão da menor taxa de nitrificação decorrente do menor contato com microrganismos (ROGERI et al., 2015). Com a aplicação de cama de aviário sobre a superfície do solo, em média cerca de 84% do N foi volatilizado na forma de amônia (NH₃) durante os primeiros cinco a seis dias em dois anos de estudo, diminuindo em média 67% quando a cama de aviário foi levemente incorporada na superfície do solo com gradagem leve (POTE; MEISINGER, 2014). Sugere-se que este efeito da incorporação da cama de aviário com gradagem leve pode ter sido similar à incorporação de cama de aviário com resíduos triturados de aveia-preta mais ervilhaca peluda sobre a superfície do solo.

Assim com o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) a partir da incorporação das doses de cama de aviário com aveia-preta mais ervilhaca peluda sobre a superfície do solo (Figura 5c), pode ter havido maior retenção de NH₄⁺ e menor volatilização de NH₃, favorecida também pela manutenção da umidade devido

a trituração dos resíduos culturais e do aumento dos teores de C orgânico neste tratamento (Figura 5b). Em resíduos de aveia-preta, o triturador proporciona 43,1% mais cobertura do solo em relação à média dos manejos da cultura com palha dessecada, gradeada ou com rolo faca (Trogello et al., 2013). Desta forma, o efeito da adubação verde foi sinérgico com o da adubação orgânica, vindo de encontro com os resultados obtidos por Spargo et al. (2016), que observaram nas produtividades de grãos de milho interação ($P < 0,05$) entre cultivo anterior de ervilhaca peluda e adubação com cama de aviário em ano com produtividade de 4,6 Mg ha⁻¹ de MVPA, mas não observaram interação entre estes fatores ($P > 0,15$) em ano que a fabaceae produziu pouco, 1,5 Mg ha⁻¹ de MVPA.

Apesar da colheita da cultura de milho silagem em ponto de colheita recomendado, os percentuais de matéria seca encontrados foram inferiores (Figura 3c) aos valores recomendados para o momento ideal de colheita citado para a cultura, de 34% a 37% de matéria seca (LUGÃO et al., 2011), possivelmente devido ao excesso de chuvas no período antecedente à colheita do milho (Figura 1) que podem ter retardado a maturação fisiológica da planta. Para o mesmo milho híbrido utilizado no presente trabalho, AG 5011, Zopollatto et al. (2008) também observaram teores de matéria seca ideais para corte e ensilagem a partir dos 109 dias de semeadura, tal qual como considerado no presente trabalho. Segundo os mesmos autores, os híbridos de milho podem apresentar perfis diferenciados quanto ao momento ideal de corte, e que diferenças entre pontos ideais de ensilagem se devem às diferenças em tipos de solo e em adubações efetuadas.

Observou-se também interação ($P < 0,05$) dos tratamentos nos percentuais de MSPA, em que no tratamento sem incorporação de cama de aviário, as parcelas com aveia-preta solteira apresentaram teor de MSPA 10,1% maior ($P < 0,05$) que no tratamento com aveia-preta mais ervilhaca peluda (Figura 3c). Todavia, estas diferenças não se refletiram produtividades de MSPA de milho entre as culturas de cobertura de inverno (Figura 3b). Zopollatto et al. (2008) citam que plantas com teores maiores de MSPA não implicam em produtividades maiores de MSPA. O efeito das culturas antecessoras de invernos nos teores de MSPA, sem incorporações de cama de aviário, pode estar relacionado ao aporte de N pelo consórcio da poaceae com a fabaceae, ocasionando manutenção do caráter de *stay-green* ou do estágio vegetativo da planta.

A cultura do feijoeiro após a de milho silagem planta inteira apresentou efeito residual da incorporação de doses de cama de aviário independentemente da cobertura de inverno, não havendo efeito ($P > 0,05$)

isolados destas e tampouco da interação ($P > 0,25$) entre doses de cama de aviário e as culturas de inverno (Figura 4). No entanto, as produtividades de grãos foram muito aquém da média da região de Curitiba-PR, de 2.100 kg ha⁻¹ (SEAB/DERAL, 2017), o que pode ser atribuído, principalmente, ao atraso na semeadura da cultura devido às precipitações pluviais elevadas (Figura 1) ocorridas até a data limite recomendada para a cultura do feijão “da seca” no município da Lapa-PR, de 20/02 (IAPAR, 2017) Nesta condição desfavorável para o cultivo do feijoeiro, houve um aumento de 43,8% (194 kg ha⁻¹) de produtividade de grãos de feijão, devido ao efeito residual da aplicação de 24 t ha⁻¹ de cama de aviário independentemente da cultura antecessora (Figura 4).

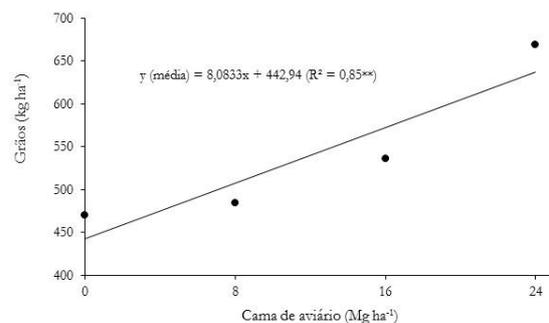


Figura 4. Produtividades de grãos de feijão em função de doses de cama de aviário incorporadas com resíduos de plantas de cobertura de inverno. **: significativo a 1% de probabilidade.

b) Atributos químicos do solo

Os teores de P aumentaram linearmente ($R^2 = 0,88^*$) com a incorporação de doses de cama de aviário aos resíduos de aveia-preta, incrementando em 57,1% os teores de P com a maior dose de cama de aviário (Figura 5a). Por outro lado, não houve efeito ($P < 0,05$) das doses do adubo orgânico com os resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda, e também, dos resíduos das culturas de aveia-preta e de aveia-preta mais ervilhaca peluda em cada dose de cama de aviário ($P > 0,25$). Este resultado sugere que quantidades adicionais de P do solo foram extraídas com o aporte de N proveniente da mistura de aveia-preta mais ervilhaca peluda. Conforme o compilado por Fageria (2001), um incremento na absorção do P pode ser induzida pelo aporte de N devido ao maior crescimento radicular, mais hábeis em absorver e translocar este nutriente, ao aumento da solubilidade de fertilizantes fosfatados pela diminuição do pH da rizosfera resultante da absorção de NH₄⁺. Alsop et al. (2002) citaram que os teores de P na camada

de 0 a 0,15 m de solo com cultivo antecessor de ervilhaca peluda foram consistentemente menores do que solos em pousio, porém sem diferença estatística ($P > 0,05$). O resultado obtido no presente trabalho corrobora o citado por Maltais-Landry et al. (2016), de que a utilização de fontes minerais e orgânicas de N pode diminuir problemas com a eutrofização em P do solo com aplicações maciças de cama de aviário.

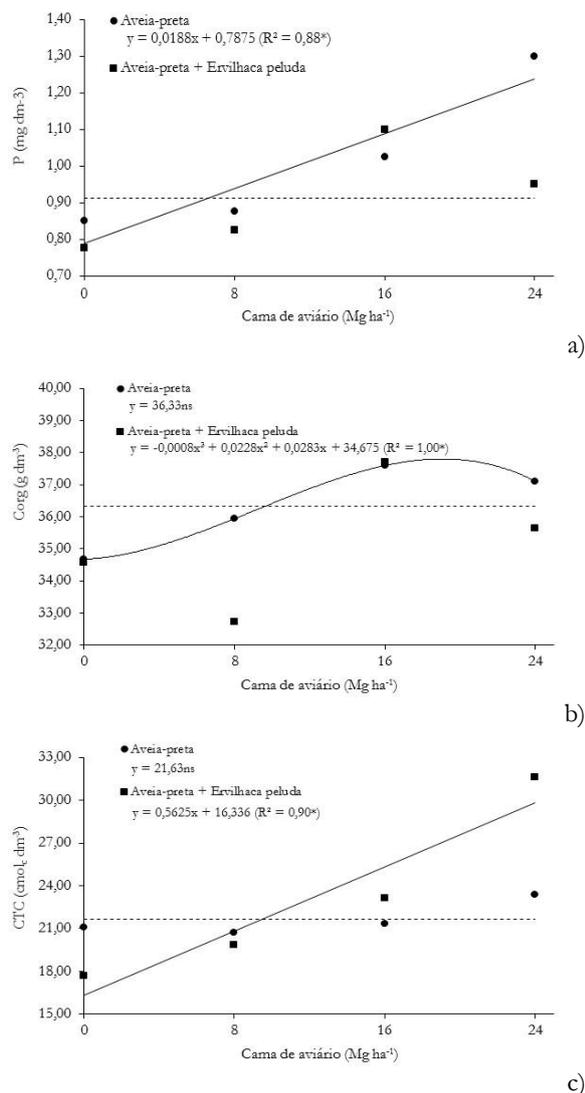


Figura 5. Teores de P-Mehlich1 (a), de C orgânico (b) e de capacidade de troca de cátions-CTC (c) em função de doses de cama de aviário incorporadas a resíduos de aveia-preta e aveia-preta mais ervilhaca peluda. * e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Os teores de C orgânico (Corg) não variaram em função das doses de cama de aviário misturadas com resíduos de aveia-preta, porém, houve efeito cúbico ($R^2 = 1,00^*$) das doses do adubo orgânico misturadas com resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda (Figura 5b), não havendo, porém, efeito ($P > 0,25$) das coberturas de inverno misturadas a cada dose de cama de aviário (Figura 5b). A partir de derivada da equação cúbica, observou-se teor máximo de $36,9 \text{ g dm}^{-3}$ de Corg com $18,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cama de aviário incorporada com resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda, o equivalente a um aumento de $2,2 \text{ g dm}^{-3}$ (6,4%) de Corg. Correlações entre teores de Corg e de Ca observadas no tratamento com aveia-preta mais ervilhaca peluda ($r = 0,86^{**}$) e não observadas no tratamento aveia-preta somente ($r = 0,47\text{ns}$) (Figura 6a).

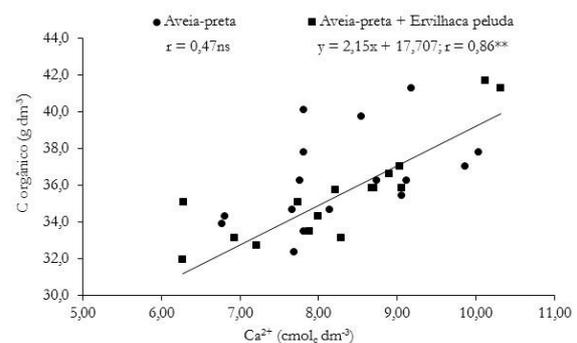


Figura 6. Correlações entre teores de Ca²⁺ e teores de C orgânico na camada de 0 a 0,1 m, nos tratamentos com aveia-preta e aveia-preta com ervilhaca peluda. ** e ns: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Em Cambissolos Háplicos as pontes de Ca também podem propiciar a agregação de compartimentos lábeis da matéria orgânica do solo, afetando sua agregação e o acúmulo de C, assim como citado por Inagaki et al. (2016) para o efeito da calagem em Latossolos. Ademais, com os aumentos de MVPA e MSPA de milho silagem (Figura 3), pode-se também considerar que houve incrementos em aportes de Corg pelas raízes, porém somente a quantidade de material orgânico aportado ao solo não justificam acréscimos em teores de matéria orgânica do solo, uma vez que adições de N por meio de fabaceas também podem favorecer a síntese de compostos mais humificados junto a minerais de argila, e conseqüentemente, aumentar os teores de Corg do solo (YAGI et al., 2005).

Houve efeito quadrático ($R^2 = 0,72^{**}$) das doses de cama de aviário incorporadas com resíduos de aveia-preta nos teores de Al³⁺ do solo, não havendo ajustes ($P < 0,05$) destes teores em função das misturas

entre adubo orgânico e resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda (Figura 7d). Os teores de Al^{3+} alcançaram valor máximo de $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com $11,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cama de aviário incorporada com resíduos de aveia-preta, o equivalente a cerca de 0,3% da CTC efetiva do solo. Em um Latossolo Vermelho eutroférico, Santos et al. (2014) observaram aumentos lineares dos teores de Al^{3+} nas camadas de 0 a 0,05 m ($R^2 = 0,54^{**}$), de 0,05 a 0,10 m ($R^2 = 0,87^{**}$) e de 0,10 a 0,15 m ($R^2 = 0,88^{**}$), os quais foram justificados pelos autores pela solubilização do Al presente no solo. A ausência de significância ($P > 0,05$) no tratamento com aveia-preta e ervilhaca peluda (Figura 7d), indica que os aportes de Al^{3+} podem ter sido complexados por compostos orgânicos hidrossolúveis presentes nestes resíduos (DIEHL et al., 2008).

Apesar das correlações dos teores de Ca^{2+} com os teores de C orgânico e os valores de pH em $CaCl_2$ (Figura 6), eles não se ajustaram a modelos de regressão polinomial (Figura 8a). Houve efeito quadrático dos teores de Mg com as doses de cama de aviário incorporadas aos resíduos de aveia-preta ($R^2 = 1,00^*$), não havendo efeito do adubo orgânico com resíduos de aveia-preta mais ervilhaca peluda e tampouco diferenças ($P < 0,05$) entre as culturas de inverno em cada dose de cama de aviário (Figura 8b).

Os aportes de Mg com as doses de cama de aviário podem justificar os aumentos dos teores de Mg no tratamento com aveia-preta. Por outro lado, ausências de efeito em teores de P no tratamento com cama de aviário nas parcelas com consórcio podem ser reflexo das maiores absorções de P devido ao aporte maior de N com a ervilhaca, e consequentemente de Mg também. Segundo Fageria (2001), o Mg interage com o P na planta como ativador enzimático e em reações que envolvem o seu transporte na planta. Os teores de K aumentaram linearmente com as doses de cama de aviário misturadas com resíduos de aveia-preta ($R^2 = 0,99^{**}$) e de aveia-preta mais ervilhaca peluda ($R^2 = 0,71^*$) (Figura 8c), resultante provavelmente dos aportes de K presentes na cama de aviário, da ordem de 325 a 975 kg ha^{-1} de K_2O com 8 a 24 Mg ha^{-1} da cama de aviário empregada.

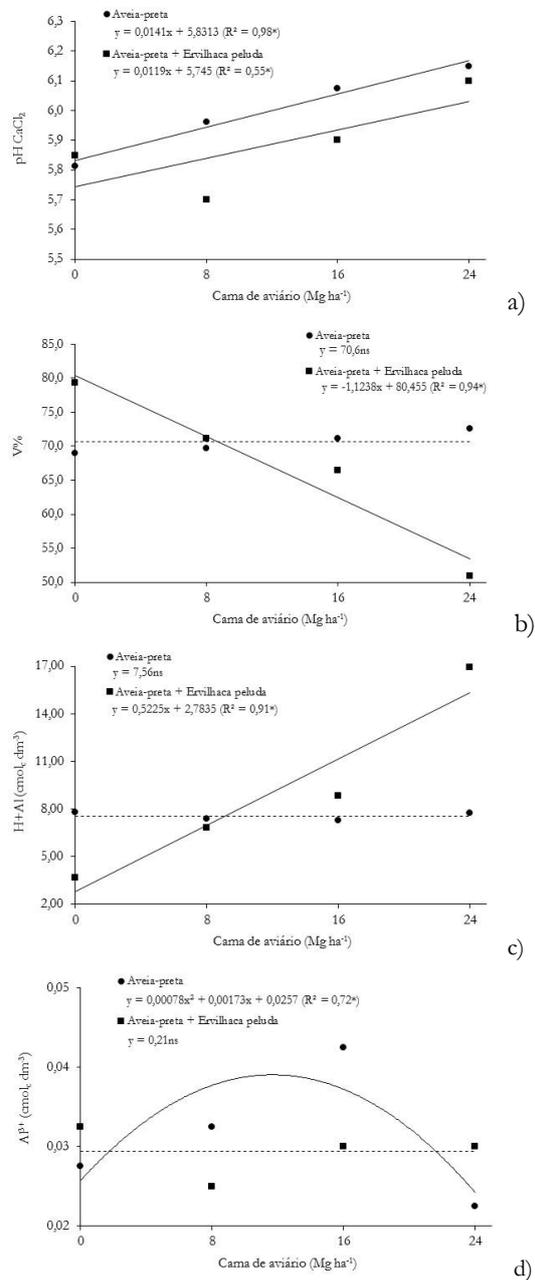


Figura 7. Valores de pH em $CaCl_2$ (a), de V% (b) e acidez potencial (c) e trocável (d) em função de doses de cama de aviário incorporadas a resíduos de aveia-preta e aveia-preta mais ervilhaca peluda. **, * e ns: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

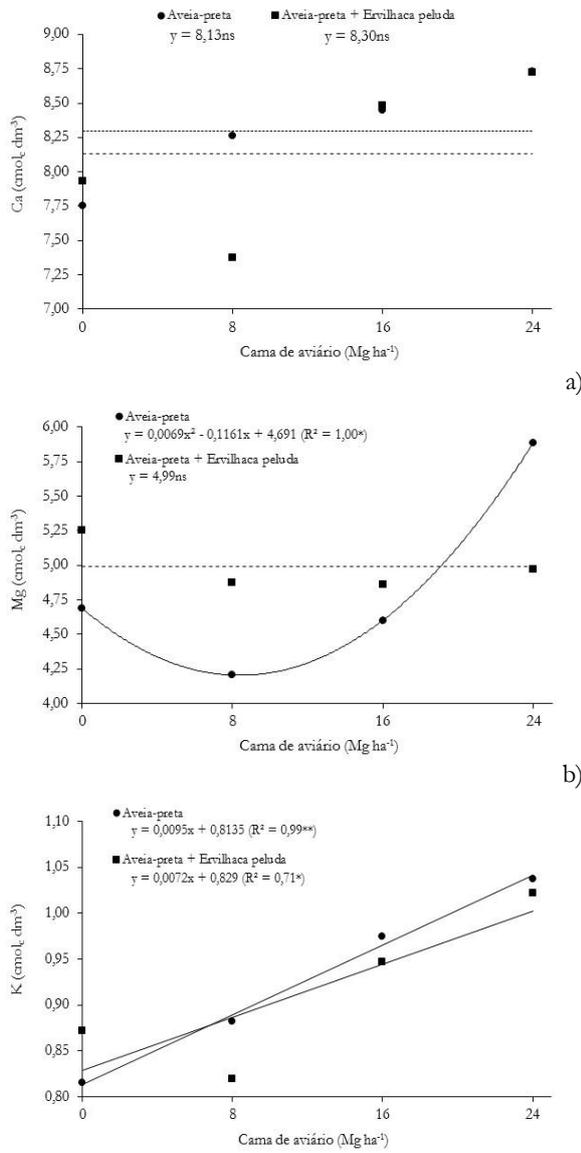


Figura 8. Teores de Ca (a), Mg (b) e K (c) em função de doses de cama de aviário incorporadas a resíduos de aveia-preta e aveia-preta mais ervilhaca peluda. **, * e ns: significativo a 1%, a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

CONCLUSÕES

Incorporações de doses de cama de aviário com resíduos triturados de aveia-preta e de aveia-preta mais ervilhaca peluda proporcionam rendimentos crescentes de matérias verde e seca de milho silagem planta inteira, em solo de fertilidade alta. A compostagem laminar com cama de aviário e resíduos

de aveia-preta mais ervilhaca peluda aumenta os teores de C orgânico e de CTC da camada superficial do solo. A incorporação de cama de aviário com resíduos triturados de aveia-preta mais ervilhaca peluda ameniza o acúmulo de P do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao administrador da Estação Experimental do IAPAR do município da Lapa-PR, Clóvis Roberto Hoffmann, e aos técnicos agrícolas Dácio Antônio Benassi e Jocemar Ferreira de Campos, pelos auxílios às atividades experimentais.

REFERÊNCIAS

- ALSUP, C. M.; KAHN, B. A.; PAYTON, M. E. Using hairy vetch to manage soil phosphorus accumulation from poultry litter applications in a warm-season vegetable rotation. *HortScience*, v. 37, n. 3, p. 490-495, 2002.
- ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura familiar na região centro-sul do estado do Paraná. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 43, n. 1, p. 155-177, 2005.
- BULEGON, L. G.; CASTAGNARA, D. D.; ZOZ, T.; DE OLIVEIRA, P. S. R.; DE SOUZA, F. H. Análise econômica na cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à mineral. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 16, n. 2, p. 81-91, 2012.
- CHEEMA, M. A.; FARHAD, W.; SALEEM, M. F.; KHAN, H. Z.; MUNIR, A.; WAHID, M. A.; RASUL, F.; HAMMAD, H. M. Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Crop & Environment*, v. 1, n. 1, p. 49-52, 2010.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2653-2659, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FARIDULLAH, ALAM, A., UMAR, M., IQBAL, A., SABIR, M. A., WASEEM, A. Nutrient extractability and bioavailability of fresh and composted poultry litter and its application on maize (*Zea mays*) crop. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 24, n. 9, p. 2742-2746, 2015.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCULO, E. R.; CUBILLA, M. ; NICOLOSO, R. ; FRIES, M. R. . Matéria seca, relação C/N e acúmulo de N, P e K em misturas de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n.2, p. 325-334, 2003.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 2, p. 331-340. 2001.

INAGAKI, T. M.; SÁ, J. C. M. ; CAIRES, E. F. ; GONCALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 231, n. 1, p. 156-165, 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. *Zoneamento da cultura do feijão 2ª Safra – Solo tipo 3*. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1092>. Acesso em: 27 fev. 2017.

KIYOTA, N.; GOMES, M. A. O. Agricultura familiar e suas estratégias de comercialização: um estudo de caso no município de Capanema - Região Sudoeste do Paraná. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, v. 1, n.2, p. 43-54, 1999.

LUGÃO, S. M. B.; BETT, V.; MORO, V.; LANCANOVA, J. A. C. Silagem de Milho Planta Inteira. In: KIYOTA, N.; VIEIRA, J. A. N.; YAGI, R.; LUGÃO, S. M. B. (Org.). *Silagem de Milho na Atividade Leiteira do Sudoeste do Paraná: do manejo de solo e de seus nutrientes à ensilagem de planta inteira e grãos úmidos*. 1ed.Londrina: IAPAR, 2011, v.1, p. 47-97.

MALTAIS-LANDRY, G.; SCOW, K.; BRENNAN, E.; TORBERT, E.; VITOUSEK, P. Higher flexibility in input N:P ratios results in more balanced phosphorus budgets in two long-term experimental agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 223, p. 197-210, 2016.

MOTTIN, M. C.; RICHART, A.; SEIDEL, E. P.; ALVES, A. L.; KLEIN, J.; SCHWANTES, D.; RAMELLA, J. R. P.; SOSTISSO, P. H. Phosphorus release from poultry litter to the soil due to the management. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, n. 34, p. 3436-3444, 2015.

NOCE, M. A.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, D. O.; CHAVES, F. F. Fertilização do milho silagem utilizando cama de frango em doses e sistemas de aplicação distintos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 13, n. 2, p. 232-239. 2014.

NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; DE MORAES, A.; NOVAKOWISKI, J. H. Adubação com cama de aviário na produção de milho orgânico em sistema de integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 4, p. 1663-1672, 2013.

PARIZOTTO, C.; SOUZA GONÇALVES, P. A.; BOFF, P. Produtividade de feijão no sistema orgânico sob doses de cama de aves em plantio direto. *Cadernos de Agroecologia*, v. 11, n. 2, p. 1-9, 2016.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. IAPAR, 1992. 40p. (Circular técnica, 76)

- PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.
- POFFENBARGER, H. J.; MIRSKY, S. B.; WEIL, R. R.; KRAMER, M.; SPARGO, J. T.; CAVIGELLI, M. A. Legume proportion, poultry litter, and tillage effects on cover crop decomposition. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 6, p. 2083-2096, 2015.
- POTE, D. H.; MEISINGER, J. J. Effect of poultry litter application method on ammonia volatilization from a conservation tillage system. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 69, n. 1, p. 17-25, 2014.
- ROGERI, D. A.; ERNANI, P. R.; LOURENÇO, K. S.; CASSOL, P. C.; GATIBONI, L. C. Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 6, p. 534-540, 2015.
- SANTOS, L. B.; CASTAGNARA, D. D.; BULEGON, L. G.; ZOZ, T.; OLIVEIRA, P. S. R.; JÚNIOR, A. C. G.; NERES, M. A. Substituição da adubação nitrogenada mineral pela cama de frango na sucessão aveia/milho. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 3, p. 272-281, 2014.
- SCHWENGBER, J. E.; SCHIEDECK, G.; MEDEIROS GONÇALVES, M. *Compostagem laminar – uma alternativa para o manejo de resíduos orgânicos*. 2008. 4p. (Comunicado técnico, 169).
- SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO/DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (SEAB/DERAL). *Comparativo de área, produção e rendimento para a cultura: feijão (2ª safra) – Safras 15/16 - 16/17*. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>. Acesso em: 03 mai. 2017.
- SPARGO, J. T.; CAVIGELLI, M. A.; MIRSKY, S. B.; MEISINGER, J. J.; ACKROYD, V. J. Organic supplemental nitrogen sources for field corn production after a hairy vetch cover crop. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 5, p. 1992-2002, 2016.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, 2ª ed. Departamento de Solos/UFRGS, 1995, 174p. (Boletim Técnico, 5).
- TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; SILVA, C. L.; ADAMI, P. F.; DALLACORT, R. Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 7, p. 796-802, 2013.
- YAGI, R.; FERREIRA, M. E. ; CRUZ, M. C. P. ; BARBOSA, J. C. ; ARAUJO, L.A.N. Soil organic matter as a function of nitrogen fertilization in crop successions. *Scientia Agrícola*, v. 62, n. 4, p. 374-380, 2005.
- YAGI, R.; FIDALSKI, J. Manejo e fertilidade do solo para o cultivo de milho silagem no Sudoeste do Paraná. In: KIYOTA, N., VIEIRA, J.A.N.; YAGI, R.; LUGÃO, S.M.B.. (Org.). *Silagem de milho na atividade leiteira do Sudoeste do Paraná. Do manejo de solo e de seus nutrientes à ensilagem de planta inteira e grãos úmidos*. 1ed.Londrina: IAPAR, 2011, v. 1, p. 20-45.
- ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. D. F.; RIBEIRO, J. L.; SARTURI, J. O.; MOURÃO, G. B. Relações biométricas entre o estágio de maturação e a produtividade de híbridos de milho para produção de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 2, p. 256-264, 2009.