

PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DO MANEJO DA CAMA DE FRANGO EM LATOSSOLO VERMELHO

Alfredo Richart, Elton José Müller, Rafael Marlon Gibbert, Jacir Daga, Helder Victor Locks

Pontifícia Universidade Católica do Paraná <alfredo.richart@pucpr.br>

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia da cama de frango em diferentes condições de pH do solo e profundidades de incorporação do esterco compostado e não compostado em um Latossolo Vermelho Distroférico típico do município de Toledo – PR. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento experimental de blocos casualizados, num esquema fatorial 2x2x3+1, sendo dois ajustes de pH do solo (5,6 e 6,7), cama de frango (com e sem compostagem) e três profundidades de incorporação da cama de frango (0, 5 e 10 cm), além da adição de um tratamento testemunha absoluta, com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos, com capacidade para 30 kg de solo, aos quais aplicaram-se a dose de 20 Mg ha⁻¹ de cama de frango. Quanto as avaliações, estimaram-se as perdas de amônia volatilizada, realizadas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação da cama. Os resultados obtidos indicam que quando o pH do solo foi de 6,7 proporcionou as maiores perdas de NH₃ por volatilização. A cama de frango compostada apresentou maiores perdas de NH₃ em comparação com a cama sem compostagem. A aplicação superficial de cama de frango compostada ocasionou maiores perdas de NH₃ volatilizada em comparação a cama não compostada. A incorporação da cama de frango foi eficiente em reduzir as perdas por volatilização de NH₃, independente da natureza da cama de frango (com ou sem compostagem).

Palavras-Chave: adubo orgânico, mineralização, perdas gasosas de nitrogênio, aplicação da cama de frango, disponibilidade de nutrientes.

LOSS OF AMMONIA IN VOLATILIZATION A FUNCTION OF MANAGEMENT OF CHICKEN IN BED IN OXISOL RED

Abstract - The objective of this study was to evaluate nitrogen losses by ammonia volatilization from poultry litter under different soil pH and depths of incorporation of manure composted and not composted in Oxisol Red Distroferric typical the Toledo – PR. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design in a factorial 2x2x3+1, two adjustments soil pH (5,6 and 6,7), chicken manure (with and without compost) and three depths of incorporation of chicken manure (0, 5 and 10 cm), plus the addition of a control absolute, with four replications. The experimental units were composed of plastic pots with a capacity of 30 kg of soil, which were applied to the dose of 20 Mg ha⁻¹ of poultry litter. As the assessments were estimated losses of volatilized ammonia, performed at 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after litter application. The results indicate that when the soil pH of 6.7 gave the largest losses by volatilization of NH₃. Poultry litter composted NH₃ showed greater losses compared with the bed without composting. Surface application of composted poultry litter caused higher losses of NH₃ volatilization compared to non-composted bed. The incorporation of poultry litter was effective in reducing NH₃ volatilization losses, regardless of the nature of poultry litter (with or without composting).

Keyword: Organic fertilizer, mineralization, gaseous losses of nitrogen forms of poultry litter application, availability of nutrients to the soil.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Paraná é um dos principais produtores de carne de frango do Brasil, e neste cenário, se destaca a região Oeste, onde a avicultura ocorre em sistema altamente tecnificado, proporcionando elevada produção de carne, o que gera uma produção significativa de resíduos orgânicos. O uso deste material orgânico na agricultura, proporciona melhorias na fertilidade do solo, além de ser excelente condicionador, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas, ou seja, aumenta a retenção de água, a agregação e a porosidade do solo, aumentando assim a capacidade de troca de cátions e a atividade microbiana do solo, que, por sua vez, potencializam a produtividade das culturas (MUELLER et al., 2013).

Diversos trabalhos na literatura comprovam o potencial de uso da cama de frango como adubo em culturas anuais, como os de Ávila et al. (2007), Menezes et al. (2004), Medeiros et al. (2008) e Konzen & Alvarenga (2005). Outra característica diz respeito ao grande volume de resíduos gerados pela atividade avícola na forma de esterco, efluentes, camas e aves mortas, o qual, concentra-se em regiões equidistantes, ocasionando impactos ambientais nas áreas de produção. Entre as várias formas de destinação, podem se mencionar a incineração, peletização e produção de energia. Além disso, a reciclagem via utilização agrônômica, em suas diversas possibilidades (adubação de cultivos, recuperação de áreas degradadas, reflorestamento e compostagem), tem apresentado maior potencial, diminuindo custos no processo produtivo (CHACÓN et al., 2011).

Normalmente, os avicultores desta região do estado, retiram a cama de frango dos galpões e depositada em leras na lavoura, para que possa ocorrer sua compostagem, em virtude de não coincidir o período de esvaziamento dos galpões com o período sem culturas implantadas na lavoura, dificultando assim a sua aplicação direta ao solo. Porém, durante a compostagem, Hao et al. (2004) verificaram que podem ocorrer perdas de N na forma de amônia (NH_3) do esterco a valores de 95%. Isto ocorre, pois os avicultores, durante o manejo da cama entre os ciclos de produção das aves, adicionam cal virgem ou hidratada a cama com a finalidade de reduzir a carga microbiana e, quando este material orgânico é adicionado ao solo, ocorre aumento do pH nas proximidades de suas partículas, potencializando as perdas gasosas do NH_3 (HAN et al., 2008). Além disso, o valor do pH do excremento é um dos fatores mais importantes, pois determina a concentração de NH_3 na fase aquosa ou gasosa, influenciando sua liberação. Müller (2012), avaliando as perdas gasosas de NH_3 de

cama de frango com e sem compostagem, constatou que a cama compostada apresentou maior valor de pH (7,2) quando comparada com a cama de frango não compostada, o qual foi de 7,0. Liu et al. (2009) explicam que a liberação da NH_3 começa quando o pH está próximo de 7,0 e aumenta significativamente acima do pH 8,0.

Nesta situação, o pH do solo tem influência direta no equilíbrio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, alterando as concentrações de NH_4^+ na solução do solo. Assim, o pH se torna o fator de grande importância na magnitude da volatilização da NH_3 (SOMMER et al., 2003). Uma alternativa para minimizar este problema seria a incorporação da cama de frango ao solo, pois, a decomposição ocorreria dentro do solo, em local onde apresenta maior concentração de íons hidrogênio (H^+), favorecendo a transformação da NH_3 em NH_4^+ .

Diante deste quadro, pouco se tem estudado sobre a forma correta de incorporação deste resíduo ao solo. De modo geral, a cama de frango tem sido aplicada no sistema a lanço, em toda a superfície do terreno, manualmente ou com auxílio de implementos originalmente produzidos para distribuição de calcário. Mas, teoricamente, se o resíduo fosse concentrado nas linhas de plantio da cultura, esta se aproveitaria com maior eficiência os nutrientes contidos no mesmo, tornando possível a redução no volume aplicado por área. Assim, este trabalho teve como objetivo quantificar as perdas de N por volatilização de NH_3 em função da profundidade de incorporação de dois tipos de cama de frango (compostada e não compostada) em duas condições de pH de solo (5,6 e 6,7) em Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, Paraná.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na unidade experimental do curso de Agronomia da Escola de Ciências Agrárias e Medicina Veterinária da Pontifícia da Universidade Católica do Paraná, Campus Toledo, região Oeste do Paraná, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude $24^\circ 43' 23''$ S e longitude $53^\circ 47' 16''$ W, altitude de 561 metros. O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cfa), sem estação seca definida (CAVAGLIONE, 2000). Os dados climáticos entre o período de 10 de dezembro de 2011 a 20 de janeiro de 2012, foram coletados e armazenados com uso de um termohigrógrafo, os quais estão nas Figuras 1 e 2.

O solo utilizado neste estudo foi um Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). A área escolhida para coletar o solo para desenvolver este estudo apresentava baixa fertilidade, como indicam os resultados da análise química de solo da profundidade de 0 – 20

cm, os quais foram: pH CaCl_2 4,70; C (g dm^{-3}): 2,62; P (mg dm^{-3}): 4,1; Ca, Mg, K, Al, H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$): 3,23; 2,59; 0,15; 0,15 e 6,69, respectivamente. Para as características físicas, apresentou 675, 200 e 125 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente. Realizou-se a coleta de solo na profundidade de 0 – 20 cm, em seguida, o solo foi peneirado em malha de 4 mm. Posteriormente, todo o material foi transportado até a casa de vegetação e esparramado sobre uma lona plástica para secagem natural, evitando-se desta maneira, alterações químicas e físicas do solo.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial $2 \times 2 \times 3 + 1$, ou seja, dois ajustes de pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (5,6 e 6,7), adição de cama de frango (com e sem compostagem) e três profundidades de incorporação da cama de frango (0, 5 e 10 cm), e mais um tratamento adicional (testemunha absoluta), sem aplicação da cama de frango e ausência de correção do pH do solo, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por vasos de polietileno, os quais, foram revestidos com sacolas plásticas e em seguida, preenchidos com 30 kg de solo.

O critério de escolha dos níveis de pHs utilizados neste trabalho está embasado na constatação de que, grande parte dos solos da região oeste do Paraná, encontram-se dentro desta faixa. Portanto, para saber a quantidade de corretivo a ser adicionada em cada vaso, realizou-se uma curva de calibração para calcário, descrita por Lana et al. (2010), incubando-se amostras de 1,0 kg de solo por 30 dias, com doses crescentes de carbonato de cálcio (0 a 10 Mg ha^{-1} de CaCO_3 p.a.), com três repetições.

No final do período de incubação, coletaram-se amostras em cada doses de CaCO_3 para determinação do pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , conforme metodologia de Myazawa (1991). De posse deste resultados, os dados foram submetidos a análise de variância e em seguida, análise de regressão polinomial, utilizando o software SISVAR. Esta análise forneceu a equação linear $y = 5,3727 + 0,000112x$, $R^2 = 0,971$, a partir desta, calcularam-se as quantidades de CaCO_3 p.a. necessárias e misturou-se a mesma com os 30 kg de solo. Em cada vaso foram adicionados água para elevar a capacidade de retenção de água do solo a 70% do volume total de poros. O solo permaneceu incubando por 130 dias, monitorando semanalmente a umidade por meio de pesagens dos vasos. Após este período, coletaram-se amostras de cada tratamento para verificar se o pH do solo atingiu os valores previamente estabelecidos, os quais foram de 5,6 e 6,7.

Quanto a cama de frango, a mesma foi adquirida em duas granjas de frango de corte integradas a

uma empresa localizada na cidade de Toledo. O esterco não compostado foi coletado diretamente de um aviário em que se realizaram seis lotes sobre a mesma cama. Já o esterco compostado foi coletado de um monte que permaneceu aproximadamente um ano sofrendo o processo de compostagem e teve origem de um aviário em que se realizaram também seis lotes de frangos consecutivos sobre a mesma cama. Foram coletadas amostras de cada tipo de cama de frango (compostada e não compostada) utilizadas no experimento, para determinação das características químicas, como apresentado na Tabela 01.

Em dezembro de 2011, foram adicionados aos vasos, conforme a área quadrada superficial de cada vaso (0,0728 m^2) e para cada tratamento descrito anteriormente, a quantia equivalente a 20 Mg ha^{-1} de cama de frango. Em seguida, precedeu-se da instalação de um coletor estático semiaberto em cada vaso, para captar a NH_3 volatilizada.

O coletor estático semi-aberto foi desenvolvido por Nõmmik (1973), com alterações feitas por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e calibrado por Lara Cabezas et al. (1999). Os coletores foram confeccionados utilizando-se garrafas pet (polietileno tereftalato) com capacidade de 2,0 litros, cortados nas extremidades. A base do coletor apresentava 72,43 cm^2 de área. Cada câmara coletora era constituída por dois discos de espuma de poliuretano com 2,0 cm de espessura e densidade 32 kg m^{-3} , instalados internamente em cada coletor. Cada espuma foi embebida com 40 mL de uma solução contendo ácido fosfórico na concentração de 1 mol L^{-1} e glicerina a 5% de concentração, conforme proposto por Duarte (2006). O disco de espuma inferior do coletor foi usado para reter a NH_3 volatilizada da cama de frango, enquanto que o disco superior, foi utilizado com a finalidade de isolar a espuma inferior do contato da NH_3 proveniente da atmosfera.

As trocas e coletas de espumas foram realizadas semanalmente, durante 42 dias, com intervalo de sete dias após a adição da cama de frango ao solo (DAA) sendo que, apenas as espumas inferiores foram trocadas a cada coleta. Os absorvedores substituídos com NH_3 retida foram colocados em sacolas plásticas e armazenados na geladeira até o momento da quantificação em laboratório. A extração da NH_3 retida nas espumas foi realizada através de quatro lavagens sucessivas com solução de KCl 1,0 mol L^{-1} , para remoção da NH_3 retida, totalizando 200 mL para a lavagem de cada esponja. O líquido remanescente da lavagem das espumas foi recolhido em um balão volumétrico e completado até 250 mL com água deionizada. Em seguida, pipetou-se uma alíquota de 10 mL, a qual foi destilada em aparelho semimicro Kjeldahl,

conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O cálculo da quantidade da NH₃ volatilizada foi obtida com base no volume da solução utilizada na lavagem das espumas que havia sido recolhida no balão volumétrico (250 mL), utilizando a seguinte equação:

$$N-NH_3 (\%) = (V_{amostra} - V_{branco}) \times f$$

Onde: N-NH₃ = quantidade de N volatilizado em mg; V_{branco} = volume de base consumida na titulação em mL; V_{amostra} = volume gasto na titulação das amostras e o f = fator de correção do ácido clorídrico.

Também, foi descontada de cada amostra, a porcentagem média volatilizada do tratamento sem adubação nitrogenada (testemunha).

Os dados foram corrigidos de acordo com as equações de calibração do coletor proposta por Lara Cabezas et al. (1999) e, em seguida, foram transformados (raiz quadrada de x + 0,5) e submetidos à análise variância e quando significativos, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A NH₃ volatilizada da cama de frango recuperada pelo coletor estático semiaberto foi influenciada significativa (p<0,05) pelos fatores estudados: pH, cama de frango (com e sem compostagem) e as profundidades de incorporação, como informado na Tabela 02. De acordo como os resultados obtidos, o intervalo entre as coletas das espumas não afetaram a eficiência do coletor, pois as mesmas foram realizadas de sete em sete dias, corroborando com resultados obtidos por Araújo et al. (2009).

As maiores perdas de NH₃, para ambos os fatores estudados, ocorreram nos 14 dias iniciais, a partir deste período, as perdas reduziram sensivelmente, possivelmente influenciadas pelos fatores climáticos (Figuras 01 e 02), aumentando desta maneira, a taxa de mineralização do N da cama de frango, favorecendo as perdas gasosas. Em trabalho realizado por Azeez & Van Averbeke (2010), avaliando a taxa de mineralização de N de esterco de origem animal, observaram que o N é mineralizado rapidamente nos primeiros 30 dias de sua aplicação ao solo.

Avaliando os efeitos gerais de cada fator estudado, observou-se que para o pH do solo, as perdas de NH₃ foram de 8,36 e 10,41%, respectivamente, para os pHs 5,6 e 6,7 (Figura 03), indicando que o pH 6,7 em CaCl₂ proporcionou as maiores perdas em relação ao pH 5,6.

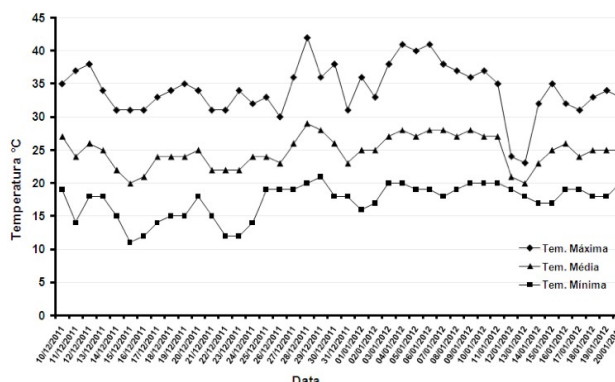


Figura 01 _ Valores médios diários da temperatura (máxima, média e mínima) registradas dentro da casa de vegetação durante os 42 dias de condução do experimento.

Tabela 01 _ Caracterização química dos materiais orgânicos utilizados no experimento.

| Componentes da cama | Cama de frango | |
|--|----------------|----------------|
| | Compostada | Não compostada |
| Nitrogênio (g kg ⁻¹) | 21,02 | 40,84 |
| Fósforo (g kg ⁻¹) | 19,18 | 29,22 |
| Potássio (g kg ⁻¹) | 31,00 | 33,00 |
| Cálcio (g kg ⁻¹) | 80,00 | 47,50 |
| Magnésio (g kg ⁻¹) | 12,50 | 10,00 |
| Enxofre (g kg ⁻¹) | 11,95 | 9,86 |
| Carbono (g kg ⁻¹) | 356,00 | 365,00 |
| Matéria Orgânica (g kg ⁻¹) | 613,00 | 628,00 |
| Cobre (mg kg ⁻¹) | 101,50 | 155,00 |
| Zinco (mg kg ⁻¹) | 770,00 | 880,00 |
| Ferro (mg kg ⁻¹) | 8.100,00 | 13.300,00 |
| Manganês (mg kg ⁻¹) | 980,00 | 1.230,00 |
| Boro (mg kg ⁻¹) | 61,20 | 1230,00 |
| pH | 7,20 | 7,00 |
| Relação C/N | 17,36 | 8,94 |
| Umidade (%) | 4,81 | 3,43 |

Este fato pode ser explicado, pois em condições de pH mais elevado, ocorre maior predominância de N na forma NH₃, a qual é volátil e em condições de pH do solo menor, prevalece a forma NH₄⁺, como sugere Basso et al. (2004). Outro fator que pode ter contribuído foi o próprio pH da cama (Tabela 01), o qual encontrava-se na faixa da neutralidade, para ambas as fontes. Corroborando com esta informação, Cantarella (2007) afirma que as perdas por volatilização de NH₃ dependem do equilíbrio entre o íon NH₄⁺ e a forma gasosa NH₃, sendo que o pH é o fator determinante deste equilíbrio.

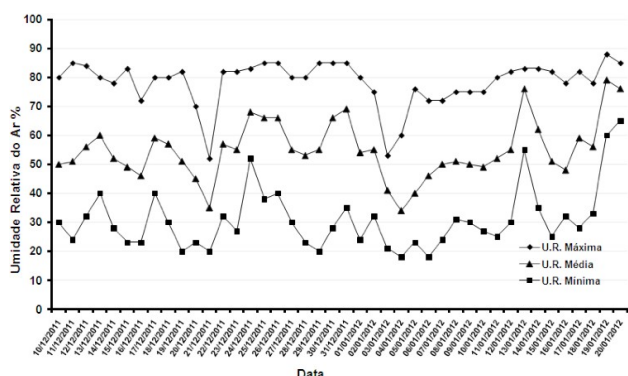


Figura 02 _ Valores médios diários para umidade relativa do ar (máxima, média e mínima) registradas dentro da casa de vegetação durante os 42 dias de condução do experimento.

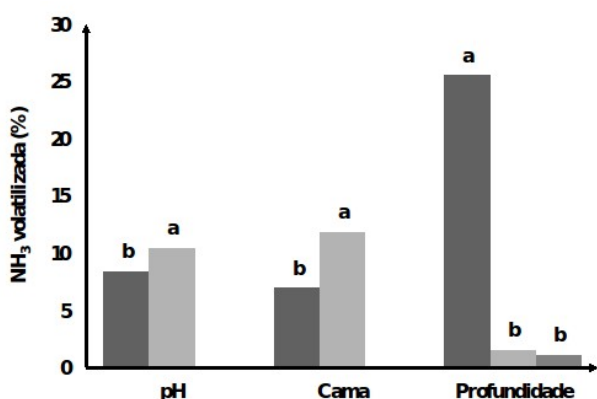


Figura 03. Resultados médios para perdas de NH₃ por volatilização da cama de frango em função do pH do solo, tipo de cama de frango (com e sem compostagem) e profundidades de incorporação da cama em Latosolo Vermelho Distroférico típico de Toledo - PR.

Observa-se que as taxas de perdas de NH₃ foram diminuindo com o passar das coletas e do tempo, atingindo o menor valor para ambos os pHs na sexta coleta, a qual foi realizada aos 42 dias DAA da cama de frango. Este fato possivelmente ocorreu devido a fatores que favoreceram as perdas de NH₃, como as altas temperaturas ocorridas na primeira semana (Figura 01), condições ideais de pH do solo e da cama de frango (Tabela 01), umidade do solo e a elevada quantidade de esterco aplicada neste experimento, além da grande quantidade de N mineral presente na cama de frango que potencializou as perdas por volatilização logo após o início da aplicação. Resultados semelhantes foram obtidos por Tasca et al. (2011), avaliando as perdas por volatilização de NH₃ de duas fontes nitrogenadas (uréia e mistura de uréia com inibidor de uréase), as maiores perdas para ambas as fontes ocorreram na primeira semana, com estabilização de perdas próximas a zero aos 15 DAA dos fertilizantes.

Para o efeito geral da cama de frango, constataram-se diferenças significativas (p<0,05) aos 7, 14 e 21 DAA entre a cama compostada e não compostada (Tabela 02 e Figura 03). As maiores perdas acumuladas de NH₃ foram registradas para a

cama de frango compostada, sendo que os valores variaram de 11,82 e 6,94%, respectivamente, para cama compostada e não compostada (Figura 03). Possivelmente, isto ocorreu devido à cama de frango compostada possuir uma maior quantidade de N mineralizado (NH₄⁺) em relação à cama não compostada, a qual apresenta uma maior quantidade de N na forma orgânica. Outro fator, durante a mineralização da cama de frango, pode ocorrer elevação do pH do solo nas regiões adjacentes a suas partículas e devido a este fato, possivelmente o maior pH da cama compostada tenha influenciado para a ocorrência de maiores perdas em relação a cama não compostada devido as reações de transformação de NH₄⁺ em NH₃ (ERNANI, 2003).

Tabela 02 _ Resumo da análise de variância das perdas de NH₃ volatiliza semanalmente para o pH (5,5 e 6,5), tipo de cama de frango (Compostada e não Compostada) e profundidades de incorporação (0, 5 e 10 cm) em um Latosolo Vermelho Distroférico típico de Toledo - PR.

| F.V. | G.L. | Q.M. | | | | | | N total |
|------------------|------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | | Dias após aplicação da cama (DAA) | | | | | | |
| | | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | |
| Bloco | 3 | 1,00 ^{NS} | 0,33 ^{NS} | 0,06 ^{NS} | 0,02 ^{NS} | 0,03 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 2,97 ^{NS} |
| pH | 1 | 8,64 [*] | 9,91 [*] | 0,11 ^{NS} | 0,70 [*] | 0,03 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 50,43 [*] |
| Cama (C) | 1 | 151,10 ^{**} | 11,70 [*] | 0,68 [*] | 0,01 ^{NS} | 0,03 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 282,6 ^{**} |
| Profundidade (P) | 2 | 1.206,3 ^{**} | 152,4 ^{**} | 19,29 ^{**} | 11,55 ^{**} | 0,58 ^{**} | 0,09 [*] | 3.123,4 ^{**} |
| pH x C | 1 | 0,54 ^{NS} | 1,19 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 0,03 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 2,47 ^{NS} |
| pH x P | 2 | 6,78 [*] | 5,18 [*] | 0,06 ^{NS} | 0,06 ^{NS} | 0,03 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 25,7 [*] |
| C x P | 2 | 137,9 ^{**} | 7,21 [*] | 0,08 ^{NS} | 0,09 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 213,2 ^{**} |
| pH x C x P | 2 | 0,61 ^{NS} | 0,43 ^{NS} | 0,02 ^{NS} | 0,04 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 0,01 ^{NS} | 2,27 ^{NS} |
| Erro | 33 | 0,75 | 0,71 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 2,88 |
| C.V. (%) | | 6,50 | 13,77 | 6,95 | 7,79 | 9,14 | 5,89 | 8,18 |
| Média geral (%) | | 5,36 | 2,16 | 0,90 | 0,70 | 0,18 | 0,08 | 9,38 |

Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente: *, ** e NS.

Dentre os fatores estudados, a profundidade de incorporação da cama de frango foi o que promoveu as maiores perdas de NH₃ em relação ao pH e cama de frango com e sem compostagem (Tabela 02 e Figura 03). Observou-se que as maiores perdas ocorreram quando a mesma foi aplicada na superfície do solo, apresentando valores totais de 25,51, 1,53 e 1,11%, respectivamente, aplicação 0, 5 e 10 cm de profundidade. Dentro das coletas realizadas, constatou-se que as maiores porcentagens de NH₃ volatilizada ocorreram na primeira semana e depois, foram diminuindo com o passar do tempo (Tabela 02).

Para as profundidades de 5 e 10 cm, constataram-se perdas reduzidas, mesmo nos primeiros dias após à aplicação da cama, evidenciando que este pode ser considerado como o fator determinante, ou seja, quando o agricultor aplica a cama de frango na superfície do solo, possivelmente ocorrerão as maiores perdas gasosas de NH₃ (Figura 03). Portanto, com base nos resultados obtidos neste estudo, quando a cama foi incorporada ao solo, ocorreu maior contato entre as partículas da cama com as partículas do solo, aumentando desta forma à transformação da NH₃ em NH₄⁺. Além disso, quando a NH₃ migra de

uma camada profunda do solo em direção a atmosfera, potencialmente poderá encontrar maior quantidade íons hidrogênio (H⁺) no percurso em função do pH menor em relação ao pH no entorno das partículas da cama, transformando-se em NH₄⁺ e conseqüentemente, pode ficar na solução do solo e ser adsorvido pelos sítios de ligação da fase sólida (RODRIGUES & KIEHL, 1986). Resultados semelhantes aos deste trabalho foram obtidos por Mariussi (2009) em estudo utilizando-se duas fontes de N (uréia e sulfato de amônio), obteve resultados onde as perdas por volatilização de amônia foram diminuindo conforme se realizou a aplicação dos fertilizantes nas profundidades de 0, 2, 4, 6 e 8 cm. Estudo realizado por Sangoi et al. (2003) avaliando o efeito da forma de aplicação da uréia e do manejo de resíduos de aveia preta sobre a volatilização da NH₃, constataram que a aplicação superficial da uréia aumentou as perdas de NH₃ por volatilização em relação à sua incorporação ao solo.

Quanto as coletas, observa-se o mesmo comportamento ocorrido para os dois fatores mencionados anteriormente, diminuindo as perdas de NH₃ ao longo das coletas, quando a cama de frango foi aplicada superficialmente (Figura 03). Em trabalho realizado por Ernani (2003), verificou que metade do N presente nos adubos orgânicos de origem animal já se encontram na forma mineral (NH₄⁺). Devido a isso, a diminuição das perdas de NH₃ ao longo dos dias, pode ser explicada devido à grande parte do N não estar mais ligado a uma cadeia orgânica, possibilitando desta forma em condições ideais (temperatura, pH do solo e da cama de frango e umidade do solo) promovem maiores perdas iniciais por volatilização (MALAVOLTA, 1981). Resultados semelhantes a estes foram observados por Basso et al. (2004), avaliando as perdas por volatilização de dejetos líquidos de suínos, onde obteve maiores perdas de NH₃ durante as primeiras horas após a aplicação dos resíduos variando de 19 a 39% de perdas acumuladas.

Com relação a interação pH do solo x cama de frango, verificou-se que ocorreram variações significativas (p<0,05) para as coletas realizadas no intervalo de 7 aos 28 DAA, sendo que os valores variaram entre 7,66 a 0,55%, independente da natureza da cama de frango e do pH (Tabela 02 e 03). As maiores emissões de NH₃ ocorreram para o pH 6,7 quando aplicado a cama compostada (13,10%), enquanto que para a cama sem compostagem o valor foi de 7,74% para mesma condição de pH. Este resultados indicam uma dependência do pH para promover maiores liberações de NH₃ durante o processo de mineralização da cama de frango (CANTARELA, 2007).

Em relação às fontes de esterco, a cama

compostada apresentou perdas acumuladas maiores em relação à cama não compostada, nos dois níveis de pH estudados neste trabalho.

Tabela 03. Resultados médios para perdas de N na forma de NH₃ em função do pH do solo e da cama de frango (com e sem compostagem) aplicada em Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Toledo – PR.

| pH do solo | Cama de frango | |
|------------|--------------------|----------------|
| | Compostada | Não compostada |
| | % | |
| | Coleta aos 7 DAA | |
| 5,60 | 6,60 aA | 3,26 aB |
| 6,70 | 7,66 aA | 3,90 aB |
| | Coleta aos 14 DAA | |
| 5,60 | 2,10 bA | 1,42 aB |
| 6,70 | 3,22 aA | 1,91 aB |
| | Coleta aos 21 DAA | |
| 5,60 | 0,97 aA | 0,74 aB |
| 6,70 | 1,08 aA | 0,83 aB |
| | Coleta aos 28 DAA | |
| 5,60 | 0,61 bA | 0,55 bB |
| 6,70 | 0,82 aA | 0,83 aB |
| | Coleta aos 35 DAA | |
| 5,60 | 0,20 aA | 0,10 aA |
| 6,70 | 0,20 aA | 0,20 aA |
| | Coleta aos 42 DAA | |
| 5,60 | 0,10 aA | 0,10 aA |
| 6,70 | 0,10 aA | 0,10 aA |
| | Total volatilizado | |
| 5,60 | 10,56 bA | 6,14 bB |
| 6,70 | 13,10 aA | 7,74 aB |

Médias seguidas da letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 04 _ Resultados médios para perda de nitrogênio na forma de amônia em função do pH do solo e da profundidade de incorporação da cama de frango aplicada em Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Toledo – PR.

| Profundidade | pH do solo | |
|--------------|-------------------|----------|
| | 5,6 | 6,7 |
| | % | |
| | Coleta aos 7 DAA | |
| 0 cm | 14,21 aB | 16,56 aA |
| 5 cm | 0,27 bA | 0,31 bA |
| 10 cm | 0,32 bA | 0,47 bA |
| | Coleta aos 14 DAA | |
| 0 cm | 4,66 aB | 6,78 aA |
| 5 cm | 0,44 bA | 0,61 bA |
| 10 cm | 0,17 bA | 0,30 bA |
| | Coleta aos 21 DAA | |
| 0 cm | 2,08 aB | 2,26 aA |
| 5 cm | 0,22 bA | 0,37 bA |
| 10 cm | 0,27 bA | 0,23 bA |
| | Coleta aos 28 DAA | |
| 0 cm | 1,54 aB | 1,82 aA |
| 5 cm | 0,11 bB | 0,45 bA |
| 10 cm | 0,09 bA | 0,20 cA |
| | Coleta aos 35 DAA | |
| 0 cm | 0,39 aA | 0,40 aA |
| 5 cm | 0,02 bB | 0,17 bA |
| 10 cm | 0,05 bA | 0,03 bA |
| | Coleta aos 42 DAA | |
| 0 cm | 0,17 aA | 0,17 aA |
| 5 cm | 0,03 bA | 0,04 bA |
| 10 cm | 0,04 bA | 0,04 bA |
| | Total | |
| 0 cm | 23,03 aB | 27,99 aA |
| 5 cm | 1,10 bA | 1,95 bA |
| 10 cm | 0,94 bA | 1,27 bA |

Médias seguidas da letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Raj (2011) verificou que o N orgânico precisa sofrer transformações até ser disponibilizado de forma mineral. Conseqüentemente, a cama não compostada disponibilizou menor quantidade de N na forma de NH₄⁺ em relação à cama composta, ocasionando desta maneira, menores perdas de

volatilização com a elevação do pH e sob condições de umidade (SEIFFERT, 2000).

Tabela 05 _ Resultados médios para perda de nitrogênio na forma de amônia em função da profundidade de incorporação e da compostagem e não compostagem da cama de frango aplicada em Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Toledo – PR.

| Profundidade (cm) | Cama de frango | |
|-------------------|-----------------------|----------------|
| | Compostada | Não Compostada |
| | % | |
| | Primeira coleta | |
| 0 | 20,55 aA ¹ | 10,22 aB |
| 5 | 0,36 bA | 0,22 bA |
| 10 | 0,49 bA | 0,31 bA |
| | Segunda coleta | |
| 0 | 6,98 aA | 4,45 aB |
| 5 | 0,67 bA | 0,36 bA |
| 10 | 0,28 bA | 0,18 bA |
| | Terceira coleta | |
| 0 | 2,37 aA | 1,97 aB |
| 5 | 0,37 bA | 0,21 bA |
| 10 | 0,32 bA | 0,17 bA |
| | Quarta coleta | |
| 0 | 1,63 aA | 1,73 aA |
| 5 | 0,38 bA | 0,18 bA |
| 10 | 0,14 bA | 0,15 bA |
| | Quinta coleta | |
| 0 | 0,44 aA | 0,34 aA |
| 5 | 0,10 bA | 0,10 bA |
| 10 | 0,06 bA | 0,02 bA |
| | Sexta coleta | |
| 0 | 0,18 aA | 0,15 aA |
| 5 | 0,04 bA | 0,02 bA |
| 10 | 0,04 bA | 0,03 bA |
| | Total | |
| 0 | 32,17aA | 18,86aB |
| 5 | 1,95bA | 1,10bA |
| 10 | 1,34bA | 0,87bA |

¹Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando a interação entre as variáveis profundidade de incorporação e pH do solo, verificaram-se variações significativas ($p < 0,05$) em todas as coletas realizadas (Tabela 02 e 04). Para a aplicação da cama de frango em superfície, verificaram-se maiores perdas em relação à incorporação a 5 e 10 cm de profundidade para ambas as condições de pH do solo e nas diversas as coletas realizadas. O pH 6,7 apresentou maiores perdas em relação ao pH 5,6 na primeira, segunda e quarta coleta, quando a cama de frango foi aplicada em superfície. Quanto as perdas acumuladas de NH_3 , observa-se que o pH 6,7 teve maiores perdas em relação ao pH 5,6 apenas na aplicação superficial da cama de frango. Isso se deve ao maior processo de transformação de NH_4^+ em NH_3 para a condição de pH 6,7. Resultados coincidentes foram obtidos por Tasca et al. (2009) testando duas fontes nitrogenadas (uréia e mistura de uréia com inibidor de uréase), obteve maiores perdas por volatilização de amônia nos valores mais altos de pH do solo.

A aplicação superficial de esterco proporcionou perdas acumuladas significativas ($p < 0,05$) quando comparado a incorporação a 5 e 10 cm de profundidade para os dois níveis de pH do solo (Tabelas 02 e 05). Observa-se que a não

incorporação mostrou-se ineficiente, pois as condições ambientais ocorridas (temperatura, umidade do solo e do ar) proporcionaram a formação de NH_3 que é altamente volátil e quando não retida pelo solo, em ambos os níveis de pH estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Sangoi et al. (2003), onde a volatilização de NH_3 , com uréia incorporada não diferiu da obtida do tratamento que não recebeu uréia devido a adsorção de NH_4^+ as cargas negativas do solo. Portanto, fica evidente que à aplicação da cama de frango incorporada reduziu substancialmente as perdas por volatilização da NH_3 . Por outro lado, a partir deste estudo surge uma oportunidade para o desenvolvimento de equipamentos capazes de incorporar a cama de frango, revolvendo o mínimo possível o solo.

5. CONCLUSÕES

Quanto ao pH do solo, as maiores perdas de NH_3 por volatilização ocorreram com o pH 6,7.

A cama compostada proporcionou maiores perdas de NH_3 em comparação com a cama sem compostagem.

A aplicação superficial de cama de frango compostada ocasionou maiores perdas de NH_3 volatilizada em comparação a cama não compostada.

A incorporação da cama de frango foi eficiente em reduzir as perdas por volatilização de NH_3 , independente da natureza da cama de frango (com ou sem compostagem).

REFERÊNCIAS

- AZEEZ, J.O.; AVERBEKE, W.V. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 14, p. 5645-5651, 2010.
- ARAÚJO, E.S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 7, p. 769-776, 2009.
- ÁVILA, V.S.; ABREU, V.M.N.; FIGUEIREDO, E.A.P.; OLIVEIRA, U.; BRUM, P.A. **Valor agrônomo da cama de frango após reutilização por vários lotes consecutivos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. 4 p.
- BASSO C.J.; CERETTA, C.A.; PAVINATO, P.S.; SILVEIRA, M.J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1773-1778, 2004.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, M.G.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.
- CHACÓN, E.A.V.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, R.R.; LIMA, P.C.; SILVA, I.R.; CANTARUTTI, R.B. Decomposição de fontes

orgânicas e mineralização de formas de nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.3, p. 373-383, 2011.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD.

DUARTE F. M. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado**. 2006. 85f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA – CNPS, 2006. p. 306.

ERNANI, P.R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Graphel, 2003. p. 76.

HAN, Z.; WU, W.; DING Y; ZHU, J.; CHEN, Y. Optimization of main factors associated with nitrogen removal in hybrid sludge sequencing batch reactor with step-feeding of swine wastewater. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 43, n. 2, p. 161-170, 2008.

HAO, X.; CHANG, C.; LARNEY, J.F. Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n. 1, p. 37-44, 2004.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Manejo e utilização de dejetos de suínos: aspectos agrônômicos e ambientais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. p. 16.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. Marechal Cândido Rondon: EDUNIOESTE, 2010. p. 129.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semiaberto estático na quantificação de amônia volatilizada da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; SANTANA, D.G.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, n. 3, p. 389-406, 1999.

LIU, Z.; WANG, L.; BEASLEY, D.B. Modeling ammonia emissions from broiler litter at laboratory scale. **Transaction of the ASABE**. v. 52, n. 5, p. 1683-1694, 2009.

MARIUSSI, E. **Perdas por volatilização em função da umidade e profundidade de incorporação num Latossolo Vermelho Eutroférico**. 2009. 37 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Potifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

MEDEIROS, R.; SANTOS B. J. M.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. A.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, 2008.

MENEZES, J. F. S.; ANDRADE, C. de L. T.; ALVARENGA, R. C.; KONZEN, E. A.; PIMENTA, F. F. **Cama de frango na agricultura: perspectivas e viabilidade técnico e econômica**. Rio Verde: FESURV, 2004. 28 p.

MÜLLER, E. **Perdas de amônia por volatilização em função do pH, profundidade de incorporação da cama de frango com e sem compostagem**. 2012. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Potifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina, IAPAR, 1992. 17 p.

NÖNMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 2, p. 309-318, 1973.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 37-43, 1986.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, 2003.

SEIFFERT, N.F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA. 2000, Concórdia, **Anais...**, Concórdia, 2000. p. 1-20.

SOMMER, S.G.; NERMONT, S.G.; CELLIER, P.; HUTCHINGS, N.J.; OLESEN, J.E.; MORVAN, T. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. **European Journal of Agronomy**, v. 19, n. 4, p. 465-486, 2003.

TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de uréia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.493-502, 2011.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p.