

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**

JORGE AUGUSTO DELATORRE ALENCAR

**VOLATILIZAÇÃO DE N-NH₃ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO DO ESTERCO DE
GALINHA POEDEIRA NA CULTURA DA MANDIOCA EM LATOSSOLO
VERMELHO DISTRÓFICO**

MARINGÁ

2021

JORGE AUGUSTO DELATORRE ALENCAR

**VOLATILIZAÇÃO DE N-NH₃ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO DO ESTERCO DE
GALINHA POEDEIRA NA CULTURA DA MANDIOCA EM LATOSSOLO
VERMELHO DISTRÓFICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional, do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador Prof. **Dr. Antonio Saraiva Muniz.**

Co-orientador: **José Ozinaldo Alves de Sena.**

MARINGÁ

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

A368v

Alencar, Jorge Augusto Delatorre

Volatilização de n-nh₃ em função da adubação do esterco de galinha poedeira na cultura da mandioca em latossolo vermelho distrófico / Jorge Augusto Delatorre Alencar. -- Maringá, PR, 2021.

40 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Saraiva Muniz.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia - Mestrado Profissional, 2021.

1. Mandioca (Manihot esculenta Crantz) - Adubação nitrogenada. 2. Esterco de galinha poedeira. 3. Perdas de N. 4. Perdas de amônia (N-NH₃). 5. Resíduos aviários. I. Muniz, Antonio Saraiva, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia - Mestrado Profissional. III. Título.

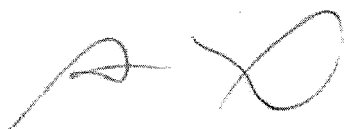
CDD 23.ed. 630

JORGE AUGUSTO DELATORRE ALENCAR

“VOLATILIZAÇÃO DE N-NH₃ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA NA CULTURA DA MANDIOCA EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO”

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá ao Centro de Ciências Agrárias, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado, em 10 de julho de 2020.



Prof.^a Dr.^a **Anny Rose Mannigel**



Prof. Dr. **José Ozinaldo Alves de Sena**



Prof. Dr. **Antonio Saraiva Muniz**
Orientador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Simone dos Santos Frutuoso Alencar, por sempre estar ao meu lado apoiando, com muito amor, paciência e carinho, e por ser a grande incentivadora deste projeto e ser parte fundamental nesta conquista. Dedico também à minha mãe Justina Inês Delatorre Alencar pelo incentivo, amor e atenção que me prestou. Dedico também aos meus avós que já foram morar com Deus, e estão olhando por nós.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me proporcionado a vida e sempre estar ao meu lado me guiando e me iluminando.

Agradeço à N. Sra. Aparecida pelas bênçãos concedidas.

Agradeço à minha esposa, meus pais, minha sogra e a todos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado me ajudando, apoiando e incentivando, em especial para os meus primos Carlos Alencar Junior e Mariana Alencar, meus cunhados Sandra dos Santos Frutuoso e Reginaldo Santos de Araújo, minha tia Arlete Terezinha Delatorre Leiba, ao Sr. Valdemar Mendes de Araújo e ao meu amigo Guilherme Aparecido Gomes de Moraes.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Saraiva Muniz, que me orientou de forma clara e objetiva, com paciência e dedicação, o qual serei eternamente grato por todos os ensinamentos e a oportunidade, compartilhando o seu conhecimento e experiência, sendo um agente motivador em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. José Ozinaldo Alves de Sena pelo convite feito para ingressar no curso de Mestrado Profissional em Agroecologia, e por todos os conhecimentos e experiências repassadas.

Ao mestrando em Solos e Nutrição de Plantas Bruno Maia Abdo Rahmen Cassim, por todas orientações e ensinamentos sobre a condução do experimento a campo e avaliação dos resultados.

A todos os professores do programa pela dedicação, empenho, comprometimento e conhecimento repassados e experiências compartilhadas.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia – Mestrado Profissional – PROFAGROEC da Universidade Estadual de Maringá – UEM, todos servidores e estagiários que sempre foram muito prestativos e disponíveis quando solicitados.

À Superintendência de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI) pelo financiamento do PROFAGROEC e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela recomendação e avaliação do PROFAGROEC.

Ao Centro Estadual de Educação Profissional do Noroeste, através dos seus diretores Ivo Jioti Suzuki, André Betti Santana e Zoraide Campanholi Tagliatti, que cedeu a área e estrutura de laboratório para realização do experimento, e a todos os

seus professores e funcionários que de forma direta ou indireta auxiliaram na execução deste trabalho, com destaque para os Professores Gustavo André Tagliari Luchini, Luiz Fernando Bitencourt e Sérgio Henrique dos Reis.

A todos os funcionários da fazenda experimental da Universidade Estadual de Maringá – CRN/Escola Agrícola, que auxiliaram na instalação e acompanhamento do experimento, com destaque para os funcionários Jaime e Moacir Neves Fajardo.

A todos os alunos do Centro Estadual de Educação Profissional do Noroeste, que auxiliaram na instalação e acompanhamento do experimento, com destaque para os alunos Wilson Santana de Almeida, Bianca Silva de Souza, Luan da Silva, Lucas da Silva, Arthur Gabriel Valini dos Santos, Hugo Carvalho Tietz e Rafael Jordão de Almeida pelo comprometimento, empenho e dedicação dada a este trabalho.

RESUMO

Avaliar as perdas dos fertilizantes minerais ou orgânicos aplicados no solo é uma estratégia importante para definir a sua eficiência, disponibilidade e aproveitamento dos seus nutrientes pelas plantas, bem como delimitar as quantidades do fertilizante a serem utilizadas, principalmente quando se trabalha com materiais orgânicos, contribuindo para a manutenção, ou melhoria da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Neste sentido o presente trabalho objetivou avaliar a volatilização de N-NH₃ do esterco de galinha poedeira, utilizado como fertilizante na cultura da mandioca, no município de Diamante do Norte - PR. Os tratamentos consistiram nas doses de 2, 4, 8, 16, 32 t ha⁻¹ de esterco de galinha poedeira, aplicados no solo em dois distintos modos de distribuição: a lanço sem incorporação (LSI) e a lanço com incorporação (LCI) e mais os tratamentos adicionais: testemunha (dose 0 de esterco) e adubação mineral incorporada ao solo conforme recomendação técnica para a cultura da mandioca, totalizando 12 tratamentos, distribuídos em blocos casualizados, em quatro repetições. Cada tratamento era constituído de 4 pontos de coleta de volatilização de N-NH₃, distribuídos nas entrelinhas da cultura da mandioca, cultivada com espaçamento de 0,90 x 0,60 metros. Para avaliação das perdas de nitrogênio (N) por volatilização de N-NH₃ utilizou-se de uma câmara estática de captação semi-aberta, contendo solução diluída H₂SO₄ de 0,05 a 0,02 N. A primeira coleta foi realizada 24 horas após a instalação do experimento, as subseqüentes a cada quatro dias, quando os recipientes com a solução ácida eram substituídos, totalizando 25 coletas no decorrer do experimento, o qual durou 96 dias. A amônia volatilizada foi estimada pela diferença entre o volume de NaOH gasto para titular a prova em branco e o volume para titular a solução ácida proveniente da câmara estática, com os valores de volatilização de N-NH₃ estimados em kg ha⁻¹. O término da avaliação de volatilização de N-NH₃ teve como critério norteador a volatilização próxima de zero ou nula. Os efeitos dos tratamentos foram verificados pela análise de variância, adotando 5% de probabilidade de erro pelo teste F, com os efeitos de doses, pós teste F, avaliados por meio de análise de regressão. O N-NH₃ volatilizado aumentou linearmente com a dose de esterco de galinha poedeira, não tendo sido observado efeito do modo de distribuição.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; cama de frango; esterco de galinha poedeira; perdas de N; perdas de amônia (N-NH₃); resíduos aviários.

ABSTRACT

Assessing the losses of mineral or organic fertilizers applied to the soil is a vital strategy to define its efficiency, availability, and use of its nutrients by the plants, as well as delimiting the quantities of fertilizer to be used, especially when working with organic materials, contributing for maintaining, or improving the sustainability of, agricultural systems. In this sense, the present work aimed to evaluate the volatilization of N-NH₃ from laying chicken manure, used as fertilizer in the cassava culture, in the municipality of Diamante do Norte - PR. The treatments consisted of doses of 2, 4, 8, 16, 32 t ha⁻¹ of laying manure, applied to the soil in two different modes of distribution: broadcast unincorporated (BUN) and the broadcast incorporated (BIN) and the additional treatments: control (dose 0 of manure) and mineral fertilization according to the technical recommendation for the cassava culture, totaling 12 treatments, distributed in randomized blocks, in four repetitions. Each treatment consisted of 4 N-NH₃ volatilization collection points, distributed between the cassava culture lines, cultivated with a spacing of 0.90 x 0.60 meters. A static semi-open capture chamber was used to evaluate nitrogen losses (N) by volatilization of N-NH₃, containing diluted H₂SO₄ solution from 0.05 to 0.02 N. The first collection was carried out 24 hours after the installation of the experiment, the subsequent ones every four days, when the containers with the acid solution were replaced, totaling 25 collections during the experiment, which lasted 96 days. The volatilized ammonia was estimated by the difference between the volume of NaOH spent to hold the blank test and the volume to titrate the acidic solution from the static chamber, with the volatilization values of N-NH₃ estimated in kg ha⁻¹. The end of the N-NH₃ volatilization evaluation had as a guiding criterion the volatilization close to zero or null. The effects of the treatments were verified by the analysis of variance, adopting a 5% probability of error by the F test, with the effects of doses, post-test F, evaluated employing means of regression analysis. The volatilized N-NH₃ increased linearly with the dose of laying chicken manure, with no effect from the distribution way.

Keywords: Nitrogen fertilization; poultry litter; hen manure; N losses; ammonia losses (N-NH₃); poultry waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 REAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO DO ÁCIDO ÚRICO EM URÉIA [3] E POSTERIOR TRANSFORMAÇÃO EM N-NH ₃ [4].....	07
FIGURA 2 DADOS CLIMÁTICOS COLETADOS NO DECORRER DO EXPERIMENTO EM 2019 (DADOS DE TEMPERATURA E UMIDADE MÉDIA DO AR OBTIDOS EM ESTAÇÃO DO INMET (2019), LOCALIZADA A 2 KM DO EXPERIMENTO. DADOS PLUVIOMÉTRICOS OBTIDOS COM PLUVIÔMETRO INSTALADO NO LOCAL.....	09
FIGURA 3 CÂMARAS DE CAPTAÇÃO SEMI ABERTA INSTALADAS NAS ESTRELINHAS DA CULTURA DA MANDIOCA COM 35 DIAS APÓS O PLANTIO E OS PONTOS DE COLETA PARA CADA TRATAMENTO.....	11
FIGURA 4 CÂMARA ESTÁTICA DE CAPTAÇÃO DE N-NH ₃ , SEMI-ABERTA, CONTENDO SOLUÇÃO DILUÍDA H ₂ SO ₄ , CONFECCIONADA COM GARRAFA PET.	12
FIGURA 5 RECIPIENTES COM A SOLUÇÃO ÁCIDA E FITA DE PAPEL FILTRO PROVENIENTES DO CAMPO.....	13
FIGURA 6 DETERMINAÇÃO DO H ₂ SO ₄ QUE NÃO REAGIU COM N-NH ₃ VOLATILIZADO, PELO MÉTODO DE VOLUMETRIA DE NEUTRALIZAÇÃO POR NaOH COM INDICADOR VERDE DE BROMOCRESOL (FIGURA A) E PONTO DE VIRAGEM DO ALARANJADO PARA O AZUL PURO (FIGURA B).....	14
FIGURA 7 PERDAS DIÁRIAS DE N-NH ₃ (KG HA ⁻¹) EM FUNÇÃO DE DOSES DE ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA DE ACORDO COM O TEMPO E MODO DE DISTRIBUIÇÃO DO ESTERCO: (A) A LANÇO NO SOLO SEM INCORPORAÇÃO (LSI) E (B) A LANÇO NO SOLO COM INCORPORAÇÃO (LCI).	17
FIGURA 8 PERDAS ACUMULADAS DE N-NH ₃ (KG HA ⁻¹) NAS DIFERENTES DOSES DE ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA EM FUNÇÃO DO TEMPO (DIAS) NO MODO DE DISTRIBUIÇÃO: A- APLICAÇÃO A LANÇO SEM INCORPORAÇÃO, B –APLICAÇÃO A LANÇO COM INCORPORAÇÃO. .	18

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	09
TABELA 2 ANÁLISE QUÍMICA DO ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA	10
TABELA 3 PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES DE VOLATILIZAÇÃO DE N-NH ₃ EM FUNÇÃO DO TEMPO, EM CADA DOSE DE ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA, NO MODO APLICAÇÃO A LANÇO SEM INCORPORAÇÃO (LSI) E APLICAÇÃO A LANÇO COM INCORPORAÇÃO (LCI).....	19
TABELA 4 MÉDIA DA VOLATILIZAÇÃO DE N-NH ₃ (KG HA-1) ACUMULADA AOS 96 DIAS EM FUNÇÃO DE DOSES DE ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA, NÃO INCORPORADO (LSI) E INCORPORADO (LCI); DA ADUBAÇÃO MINERAL; QUANTIDADE DE NITROGÊNIO ADICIONADO DE ACORDO COM AS DOSES (KG HA-1) E O P.....	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO DE LITERATURA	04
3	METODOLOGIA	08
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5	CONCLUSÕES	24
6	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A alta demanda por alimentos decorrente do crescimento da população mundial faz com que a utilização dos insumos para a produção agrícola seja cada vez maior. O aumento da eficiência, com redução das perdas provocadas por condições ambientais ou operacionais, com consequente redução do alto custo e potencial poluidor dos insumos, são premissas fundamentais para o uso consciente deles e contribuem para a preservação dos recursos naturais. A busca por alternativas para a substituição dos insumos sintéticos por insumos de origem orgânica deve ser constante. Abrange a utilização de resíduos das produções pecuárias, a rotação de culturas com plantas destinadas para adubação verde, o uso de organismos benéficos para o desenvolvimento das culturas, os quais agem na disponibilização de nutrientes ou no controle de pragas e/ou doenças, sempre com o objetivo de se manter os níveis de produção, reduzir os custos e preservar o meio ambiente.

Neste contexto, o uso de esterco de origem animal vem sendo estimulado em propriedades rurais, constituindo-se em fontes de nutrientes e matéria orgânica, proporcionando melhorias das condições físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, das produções agrícolas. Segundo De Souza et al. (2016) a matéria orgânica possibilita melhor desenvolvimento das culturas, pois fornece nutrientes essenciais às plantas e atua como condicionador de solo, melhorando a sua porosidade, infiltração e retenção de água no solo; além de ser facilmente encontrado nas propriedades e ter um custo menor comparado aos fertilizantes minerais. Assim, os esterco tornam-se uma alternativa interessante para os produtores, principalmente quando estes estão próximos aos centros de produção pecuária, como avicultura, bovinocultura e suinocultura, principalmente. A utilização desses resíduos na agricultura é uma opção viável para redução da poluição ambiental e fonte de nutrientes para a agricultura orgânica do país (DE SOUZA et al., 2016).

Os resíduos de origem animal podem ter um tempo de permanência maior no meio ambiente; os seus nutrientes não estão prontamente disponíveis no momento da sua utilização, eles vão sendo disponibilizados ao longo do ciclo das plantas (RÓS et al., 2013). Essa disponibilidade ocorre com a decomposição de forma lenta e gradual do material orgânico, possibilitando menores perdas por volatilização e/ou

lixiviação (FERNANDES et al., 2009). Ao contrário, os adubos minerais apresentam alta solubilidade, após a sua aplicação no solo, os seus nutrientes ficam prontamente disponíveis para as plantas, da mesma forma que também podem ser perdidos por volatilização e/ou lixiviação, apresentando assim maior potencial de perda.

O rebanho brasileiro de galinhas era de aproximadamente 246.880.000 cabeças no ano de 2018, sendo o estado do Paraná o segundo maior rebanho nacional com 24.518.726 cabeças, ficando atrás apenas do estado de São Paulo (SIDRA-IBGE 2018). Considerando que um frango pesando 1,6 kg produza em média 0,1 kg de dejetos (esterco + urina) por dia (TRANI et al., 2008), apenas o estado do Paraná produziu mais de 2.400 toneladas diárias de dejetos, naquele ano.

A quantidade produzida por animal pode variar, de acordo com o peso médio dos animais, a idade, a dieta, a genética das aves, o manejo, o sistema de instalação etc. (AUGUSTO & KUNZ, 2011). Requer cuidados na destinação e no tratamento desse material, isto devido à emissão de gases, como amônia, óxido nitroso, dióxido de carbono e metano que produzem. A sua degradação pode ter implicações negativas na produção avícola, na saúde humana e no meio ambiente e o seu uso descontrolado como fertilizante pode acarretar consequências negativas, como fertilização excessiva do solo, propiciando alto teor de nutrientes, provocando contaminação de águas subterrâneas através da lixiviação do nitrato, movimento do nitrato e amônio para as águas superficiais resultando em sua eutrofização (AUGUSTO & KUNZ, 2011; BEEGLE et al., 2008).

Atenção especial deve ser dada ao nutriente nitrogênio presente nesses dejetos animais, tendo em vista ser constituinte de todos esses materiais, em concentrações que podem variar de acordo com a espécie geradora e seu manejo, ser um macronutriente demandado em grandes quantidades para o desenvolvimento das plantas, principalmente as de interesse comercial. A disponibilidade desse nutriente está relacionada a diversos fatores como as características químicas e físicas do adubo orgânico, as condições ambientais (temperatura, umidade, vento, pH do solo etc.), a forma de armazenagem e ao método de aplicação dele.

Existe a necessidade de realizar estudos com adubos orgânicos, no caso do esterco de galinha, para definir qual a quantidade a ser utilizada para que as culturas produzam satisfatoriamente, e como deve ser feita essa aplicação para o melhor aproveitamento, de modo a se ter melhoria das condições do solo, a proporcionar ao

produtor uma opção economicamente viável, como resultado dos custos de produção e ambiental positivos. Além disso, fazer uso de um resíduo proveniente de um setor da atividade pecuária favorece a preservação de recursos naturais que seriam utilizados na fabricação dos adubos minerais, se configurando em uma opção mais sustentável, tendo em vista que esse resíduo não pode ser descartado no ambiente sem critérios e procedimentos especiais que eliminem ou diminuam os riscos de poluição.

Neste sentido este trabalho teve como objetivo geral avaliar a volatilização de $N-NH_3$ em função da adubação com diferentes doses de esterco de galinha poedeira, em dois distintos modos de distribuição no solo: a lanço sem incorporação (LSI) e a lanço com incorporação (LCI). Os objetivos específicos foram avaliar perdas de N em função da dose e modo de aplicação do esterco de galinha poedeira e determinar se o modo de distribuição do esterco de galinha poedeira interfere nas perdas de N por volatilização.

As hipóteses testadas foram que com o aumento das doses do esterco de galinha poedeira aplicado no solo ocorre aumento da volatilização de $N-NH_3$ e os modos de distribuição desse esterco no solo interferiria na volatilização de $N-NH_3$.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nos sistemas de cultivo orgânico é restringido o uso de fertilizantes minerais, se tornando necessário o uso de fontes alternativas de nutrientes que possam atender às demandas nutricionais das culturas, para que elas apresentem desenvolvimento e produção semelhantes aos cultivos convencionais e com qualidade.

Além de terem uso restringido nos sistemas de produção orgânica, os fertilizantes minerais apresentam algumas características que em algumas situações podem tornar-se desfavoráveis. Esses fertilizantes têm alto custo de aquisição, sua composição apresenta menor número nutrientes de interesse para as culturas, na maioria dos casos são provenientes de fontes não renováveis. Por estarem prontamente disponíveis após sua aplicação no solo podem ser facilmente perdidos, por processos de lixiviação ou imobilização, diminuindo seu aproveitamento pela cultura. Em contrapartida na adubação orgânica, apesar de ser empregadas altas doses, tem-se uma variedade maior de nutrientes em baixas concentrações, a sua liberação é lenta, ocorrendo conforme a decomposição do material utilizado, possibilitando melhor aproveitamento pela cultura, favorecendo as características químicas, físicas e biológicas do solo.

Rós et al. (2013) trabalhando com a variedade de mandioca de mesa IAC 576-70, colhida 8 meses após o plantio, registraram resposta linear da produção de mandioca à aplicação de esterco de galinha, até a dose de 18 t ha^{-1} , sendo que na maior dose obtiveram produção de raízes de 49 t ha^{-1} , 19% superior ao tratamento sem o insumo, ocorrendo também melhora nas características químicas e físicas do solo. Na cultura da batata doce Oliveira et al. (2010) trabalhando com esterco bovino com doses até 50 t ha^{-1} , obtiveram máxima produção de raízes tuberosas de $17,4 \text{ t ha}^{-1}$, na dose de $30,8 \text{ t ha}^{-1}$, com queda de produção a partir dessa dose.

De acordo com De Oliveira et al. (2011) a acumulação histórica de nutrientes via aporte de esterco, determina aumento nos teores em profundidade, indicando lixiviação de bases trocáveis, podendo representar prejuízo econômico para os produtores além de possível risco ambiental, com maiores impactos em solos arenosos. Sugerem racionalizar o uso de esterco, adequando suas doses de acordo com a demanda de fósforo das culturas ao invés do nitrogênio, complementando suas necessidades com adubação inorgânica, quando for o caso.

Segundo da Silva (2017) a fertilização com resíduo de café, esterco bovino, húmus de minhoca e esterco de caprino provocaram supressão da podridão radicular da mandioca, causada pelo fungo *Fusarium solani*, bem como mudanças na estrutura do solo por meio da incorporação da matéria orgânica.

Em trabalho realizado em área de ocorrência de Argissolo Vermelho Amarelo nos anos agrícolas 1990/91 e 1991/92, em área que vinha recebendo os mesmos tratamentos desde o ano de 1984, Gomes et al. (2005) avaliaram o efeito da adubação com composto orgânico (produzido com restos culturais de milho e esterco bovino) e da adubação mineral na produção de milho. Observaram que: 1) a dose de 40 m³ha⁻¹ do composto orgânico propiciou a mesma produção da dose de 500 kg ha⁻¹ do adubo NPK (04-14-08); 2) a utilização do composto orgânico proporcionou aumento dos níveis de carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio e fósforo no solo; 3) o adubo químico promoveu a redução do tamanho médio dos agregados e a redução dos níveis de cálcio, magnésio e potássio do solo e aumentou apenas o nível de fósforo, e 4) as duas formas de adubação não interferiram na densidade real, aparente e na porosidade total do solo.

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas plantas cultivadas, devido ser constituinte de vários compostos, com destaque para os aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila, estando presente nas principais reações bioquímicas em plantas e micro-organismos (CANTARELLA, 2007a). Este elemento pode entrar no sistema solo planta por deposições atmosféricas, fixação biológica (simbiótica ou não), adubações minerais ou orgânicas; ser removido pelas culturas ou por mecanismos de perdas que incluem lixiviação e volatilização (CANTARELLA, 2007a).

A volatilização de amônia no solo é dependente do pH. Em ambientes ácidos predominam os íons amônio (NH₄⁺) e em ambientes alcalinos predomina amônia (NH₃), sua forma gasosa (CANTARELLA, 2007a). Mais alta concentração de íons H⁺ presente e o pH abaixo de 7,0 resulta em maior concentração de NH₄⁺ (não volátil) em relação à NH₃ (volátil), resultando em menores perdas de nitrogênio por volatilização sob a forma da amônia (OLIVEIRA et al., 2004). Minato et al. (2016), trabalhando com fontes minerais nitrogenadas distribuídas a lanço no solo em sistema de plantio direto, observaram que a volatilização de N-NH₃ respondeu de forma positiva e linear ao aumento das doses de calcário, fato associado à elevação do pH da camada

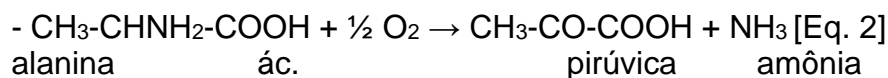
superficial do solo. Oliveira et al. (2003) relataram que o pH da cama de frango tem influência direta sobre os níveis de amônia no ar, que a adição do gesso agrícola teve ação de redução do pH e reduziu significativamente a quantidade de amônia volatilizada. Em outro trabalho com cama de frango Oliveira et al. (2004) constataram que o pH e a quantidade de amônia volatilizada foram influenciados pelo uso do sulfato de alumínio, na dose de 100 g de sulfato de alumínio por kg de cama de frango a volatilização de amônia foi inibida pela redução do pH.

Os microrganismos ao decomporem a matéria orgânica, buscam primordialmente a energia incorporada pela fotossíntese, com liberação de CO₂, H₂O, liberação e/ou incorporação de nutrientes minerais (BEEGLE et al., 2008). O nitrogênio pode ser liberado e/ou incorporado dependendo da relação C/N do material, com saldo positivo para a liberação de N, no final do processo.

A liberação do N para o meio pode ocorrer sob a forma de íons NO₃⁻, NH₄⁺, moléculas NH₃, estas na forma gasosa, conforme demonstram as reações de proteólise (Eq. 1) e amonificação-desaminação (Eq. 2) na mineralização do nitrogênio transformando o não orgânico (R-NH₂) em não mineral (NH₃, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻), sendo influenciada pela umidade (CASSITY-DUFFEY et al., 2015), temperatura (AL-KAISI&WASKOM, 2002), doses (BASSO et al., 2004) e modo de incorporação (GIACOMINI et al., 2013).

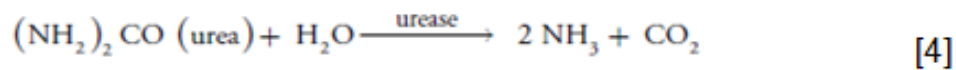
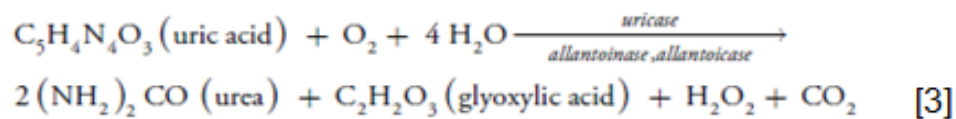
Proteólise

Proteínas → Peptídeos → Aminoácidos [Eq. 1] Amonificação-desaminação



Rothrock et al. (2010) registraram que a volatilização da amônia a partir de camas de aviário decorre da transformação do ácido úrico e da uréia, durante a ação dos microrganismos (Figura 1).

Figura 1 Reações de transformação do ácido úrico em uréia [3] e posterior transformação em N-NH₃ [4]



Fonte: Rothrock et al. (2010)

De acordo com Miola et al. (2014) estimativas confiáveis de volatilização de N-NH₃ após distribuição de esterco de aves sobre o solo devem se basear no total de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) aplicado, derivado da decomposição do ácido úrico, no teor de matéria seca e no tempo de decomposição do esterco, levando-se em consideração as condições ambientais locais.

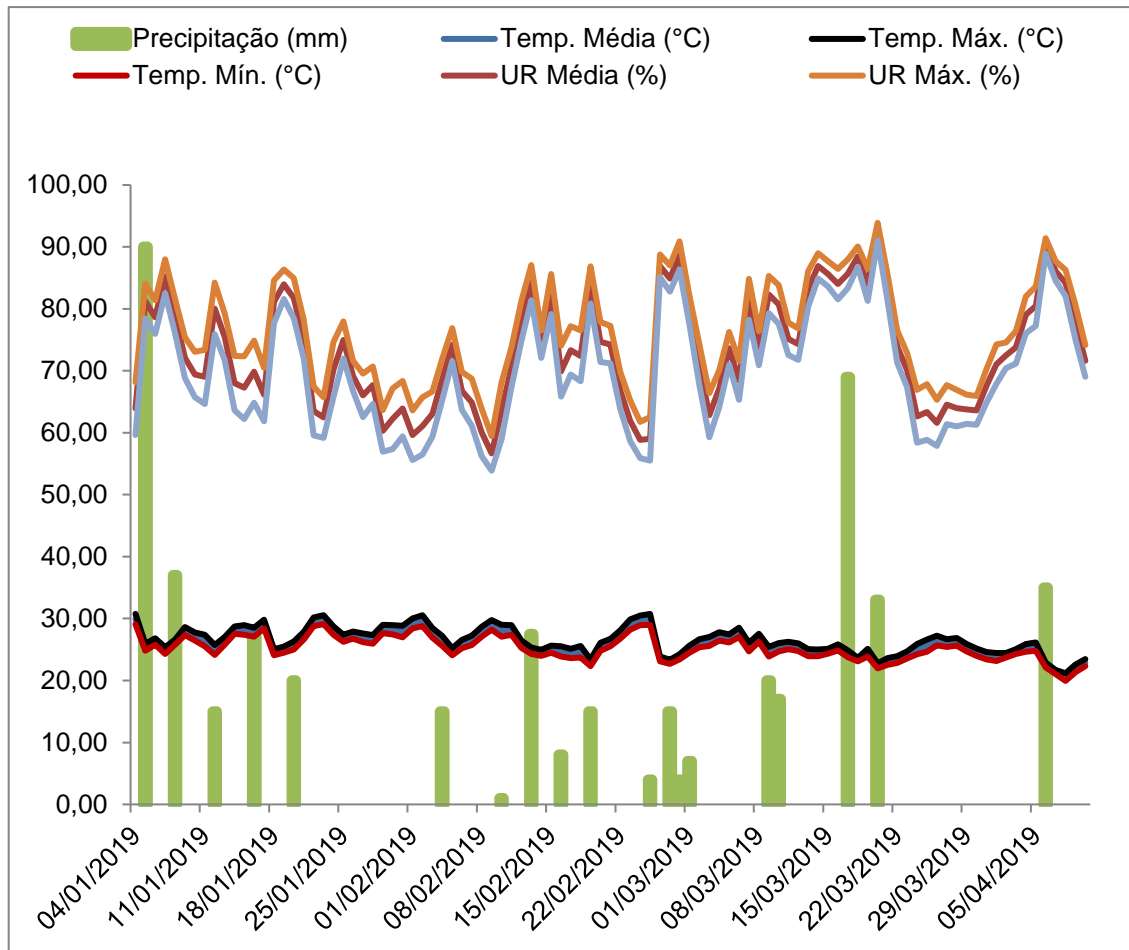
Giacomini et al. (2013) avaliando a volatilização de amônia, a nitrificação e a mineralização de N do dejetto líquido de suínos e da cama sobreposta de suínos concluíram que a aplicação do dejetto na superfície do solo aumenta a volatilização de amônia, reduz a taxa de nitrificação do N-amoniacal e não altera a taxa de mineralização do N-orgânico em comparação à sua incorporação ao solo (a incorporação do dejetto ao solo reduziu em 93% a volatilização de amônia). A aplicação do dejetto sobre a palha de aveia, na superfície do solo, promoveu a imobilização do N sem reduzir a volatilização de amônia e a taxa de nitrificação do N-amoniacal, quando comparado ao aporte apenas na superfície do solo. Por outro lado, Gonzatto et al. (2013) registraram que a aplicação de dejetto líquido de suíno em solos com presença de palha de aveia preta em superfície reduziu a perda de N-NH₃ por volatilização em relação a sua aplicação no solo descoberto, porém essa prática aumentou as emissões de N₂O (óxido nitroso).

Basso et al. (2004) avaliaram as perdas de N-NH₃ em função das doses e dos horários de aplicação de líquido de suínos, concluíram que o uso das menores doses minimiza as perdas de N-NH₃ por volatilização, que os picos de perdas ocorrem nas primeiras horas após a aplicação, que a incorporação do dejetto pode diminuir essas perdas, e os horários de aplicação não interferiram nos resultados.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá – CRN/Escola Agrícola, localizada no município de Diamante do Norte – PR (latitude 22° 39' 21" S, longitude 52° 51' 36" W e altitude de 378 m) região noroeste, em área de topografia plana. O local apresenta clima do tipo "Cfa", subtropical, segundo classificação de Köppen. As variáveis climáticas coletadas foram precipitação, com um pluviômetro instalado na área do experimento, temperatura e umidade média diária, por meio de uma estação meteorológica de observação de superfície automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na área da fazenda experimental, distante dois mil metros da local do experimento (Figura 2).

Figura 2 Dados climáticos coletados no decorrer do experimento em 2019 (Dados de temperatura e umidade média do ar obtidos em estação do INMET (2019), localizada a 2 km do experimento. Dados pluviométricos obtidos com pluviômetro instalado no local.



O solo da área experimental é Latossolo Vermelho Distrófico, predominante na região (BHERING & DOS SANTOS, 2008). Apresentou teores de argila de 33,75%, silte de 2,50% e areia de 63,75%, cujos resultados foram obtidos por meio de análise pelo método do densímetro, de acordo com metodologia proposta por Claessen (1997).

Os resultados da análise química do solo, obtidos segundo a metodologia proposta por Silva (2009), encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 Análise química do solo da área experimental

Profundidade (cm)	H em água	l	+Al		g	K	P	C	M.O.
			a	cmolc dm ⁻³					
0 – 20	5,94	0,00	2,94	1,72	0,21	0,23	6,19	11,21	19,30

O experimento foi instalado em área com a cultura da mandioca em desenvolvimento inicial. Antecedendo à cultura da mandioca havia a cultura do feijão (colhido em agosto de 2018), e antes deste a área estava em pousio. O experimento foi instalado 35 dias após o plantio da cultura da mandioca, que ocorreu em 30 de novembro de 2018.

O adubo orgânico utilizado no experimento foi esterco de galinha poedeira, cujas características químicas, obtidas segundo a metodologia proposta pela EMBRAPA (2009), são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Análise química do esterco de galinha poedeira

	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	C.O.	C/N	midade	CTC				
%										cmol.kg ⁻¹				
3,63	4,04	2,89	12,06	1,23	0,31	0,95	0,05	0,04	0,40	0,05	18,56	5,37	8,5	36,76

As doses utilizadas foram 2, 4, 8, 16, 32 t ha⁻¹ distribuídas em dois diferentes modos no solo, mais um tratamento testemunha sem adubação e um tratamento adicional com adubação mineral de plantio conforme recomendação técnica para a cultura da mandioca, totalizando 12 tratamentos, distribuídos em blocos casualizados (DBC), em quatro repetições, perfazendo 48 parcelas. Os modos de distribuição (aplicação) foram a lanço sem incorporação (LSI) e a lanço com incorporação (LCI), sendo esta incorporação caracterizada pela mistura com o solo. No tratamento com adubação mineral utilizou a formulação NPK 08-28-16 na dose de 178,6 kg ha⁻¹. As quantidades de nutrientes aplicados tiveram como base a análise de solos, de acordo com as recomendações do IAPAR (OLIVEIRA, 2003).

Em cada tratamento foram estabelecidos 4 pontos de coleta de volatilização de N-NH₃, distribuídos nas entrelinhas da cultura da mandioca cultivada com espaçamento de 0,90 x 0,60 metros, ficando distante 0,60 m um ponto do outro (Figura 3). Cada ponto consistiu em uma área delimitada por uma base de tubo PVC com 10 cm de diâmetro e altura de 10 cm, onde foi aplicado o esterco, com dose corrigida para referida área da base, segundo os tratamentos.

Figura 3 Câmaras de captação semi aberta instaladas nas estrelinhas da cultura da mandioca com 35 dias após o plantio e os pontos de coleta para cada tratamento.



A avaliação das perdas de nitrogênio (N) por volatilização de N-NH_3 em função das doses e modos de aplicação do esterco e do fertilizante mineral, foi feita segundo a metodologia descrita por Miyazawa (2007), que propõe a utilização de uma câmara estática de captação semi-aberta, contendo solução diluída H_2SO_4 . A câmara foi confeccionada a partir de uma garrafa PET com o fundo cortado, tendo dimensões de 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro na sua base, e uma fita de papel filtro de 2,5X25 cm, com a ponta submersa em 40 ml de uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), com concentração variando de 0,05 a 0,02 N, em presença do indicador vermelho de metila, acondicionada em recipiente com volume de 80 ml (Figura 4).

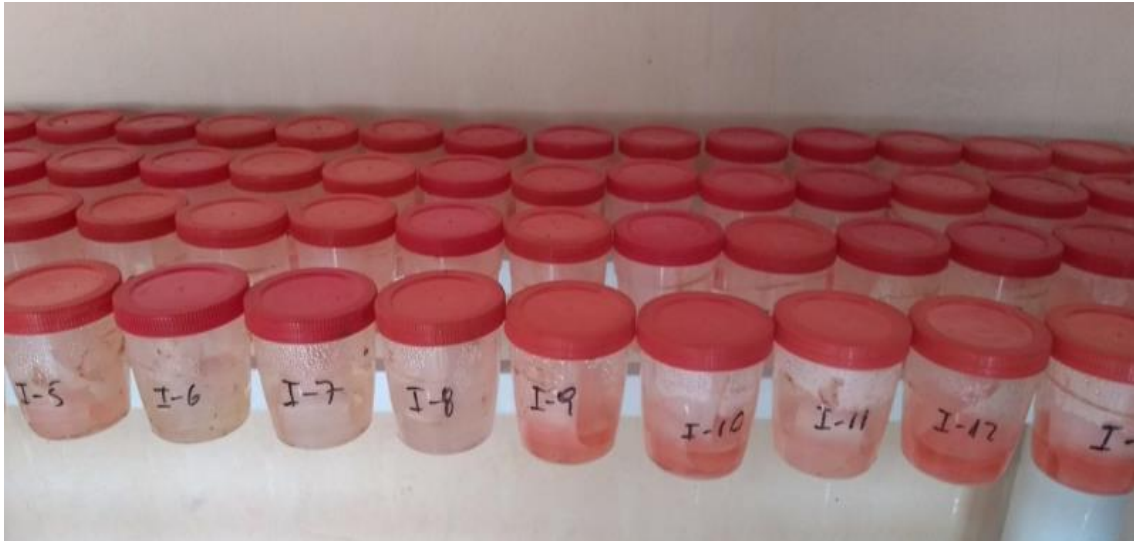
Figura 4 Câmara estática de captação de N-NH₃, semi-aberta, contendo solução diluída H₂SO₄, confeccionada com garrafa PET.



A primeira amostragem foi realizada no dia 05/01/2019, a última coleta em 10/04/2019. A cada quatro dias era realizada uma nova amostragem, quando os recipientes com a solução ácida e a fita de papel filtro eram substituídos, totalizando 25 coletas no decorrer do experimento. A cada troca do recipiente com a solução ácida e fita de papel filtro a câmara estática era mudada de posição na parcela, quando chegava ao quarto ponto voltava para a primeira. Os volumes e concentrações de H₂SO₄ variaram no decorrer do experimento, sendo nas seis primeiras coletas (dia 05/01 a 24/01) utilizadas o volume de solução de 40 ml em concentração de 0,05 N, as duas seguintes (dia 28/01 à 01/02) volume de solução 40 ml em concentração de 0,03 N, as três seguintes (05/02 à 13/02) volume de solução de 50 ml em concentração de 0,03 N, e as restantes (17/02 à 10/04) volume de solução de 50 ml em concentração de 0,02 N. Em cada recipiente com a solução ácida, independente da concentração, eram adicionadas 3 gotas do corante indicador vermelho de metila.

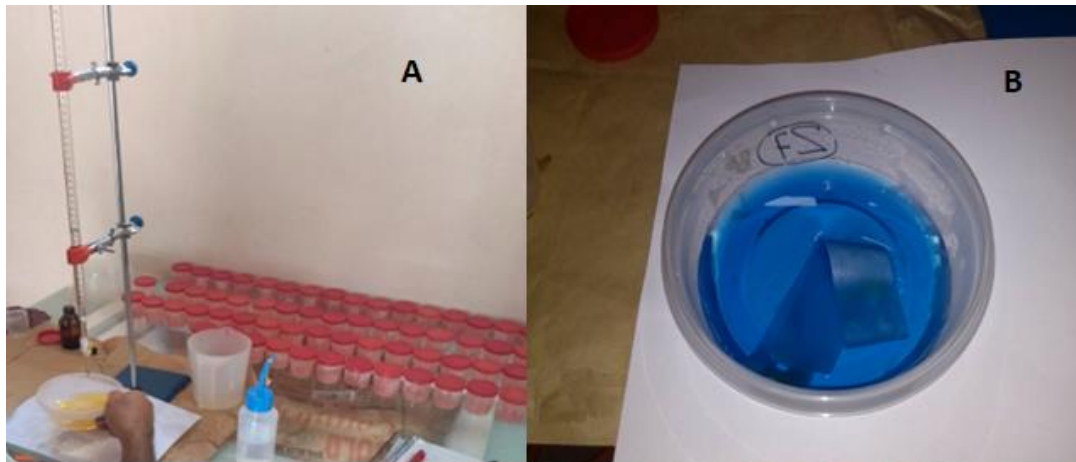
Para realizar a estimativa do NH_3 proveniente da volatilização, as amostras coletadas (Figura 5) eram levadas para o laboratório, onde se procedia à determinação do ácido sulfúrico que não reagiu com a amônia volatilizada, pelo método de volumetria de neutralização por hidróxido de sódio (NaOH) (Figura 6A).

Figura 5 Recipientes com a solução ácida e fita de papel filtro provenientes do campo.



Essas amostras provenientes do campo (Figura 5) eram tituladas com NaOH em presença de 3 gotas do indicador verde de bromo cresol (Figura 6A), com ponto de viragem do alaranjado para azul puro (Figura 6B). Os volumes gastos na titulação (VT) de NaOH neste procedimento eram anotados em planilha para posterior cálculo da quantidade de $\text{N-NH}_3(\text{kg ha}^{-1})$. Procedeu-se à determinação da “prova em branco” em 4 repetições, que consistiu em determinar o volume de NaOH gasto para titular uma alíquota de solução ácida no mesmo volume e concentração das soluções colocadas na câmara estática. Ao volume de NaOH gasto na titulação do branco, denominou-se volume do branco (VB). A amônia volatilizada era estimada pela diferença entre o volume de NaOH gasto para titular a prova em branco e o volume para titular a solução ácida proveniente da câmara estática.

Figura 6 Determinação do H₂SO₄ que não reagiu com N-NH₃ volatilizado, pelo método de volumetria de neutralização por NaOH com indicador verde de bromo cresol (Figura A) e ponto de viragem do alaranjado para o azul puro (Figura B).



O cálculo da quantidade de N-NH₃ volatilizado (kg ha⁻¹) foi estimado por meio da fórmula:

$$\text{kg N-NH}_3\text{ha}^{-1} = (\text{VB-VT}) \times \text{N} \times 14 \times 1,27388535 \text{ (Eq.5)}$$

Onde:

kg N-NH₃ha⁻¹: quantidade em quilogramas de N-NH₃ volatilizado por hectare;

VB: Volume de NaOH gasto para titular a prova em branco;

VT: Volume de NaOH gasto para titular a amostra que foi para campo;

N: concentração das soluções em N;

14: massa atômica do Nitrogênio;

1,27388535: fator de correção da área da câmara em mg cm⁻² para kg ha⁻¹;

A porcentagem de nitrogênio volatilizado proveniente do esterco de galinha (%NVE) foi calculada segundo a expressão:

$$\% \text{ NVE} = \frac{[(\text{N-NH}_3 \text{ volatilizado no tratamento} - \text{N-NH}_3 \text{ volatilizado na dose zero})] \times 100}{(\text{N adicionado})} \text{ (Eq.6)}$$

Os efeitos dos tratamentos foram verificados pela análise de variância, adotando 5% de probabilidade de erro pelo teste F, utilizado o programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2010). Os efeitos de doses, pós teste F foram avaliados por meio de análise de regressão, com a volatilização acumulada de N-NH₃ nas diferentes

doses em função do tempo ajustada ao modelo não linear logístico, definido pela equação:

$$\hat{Y} = \frac{\alpha}{1 + \exp[-(time - \beta)/\gamma]} \quad \text{Eq. 7}$$

Conforme descrito por Seber e Wild, 2003, onde:

Y: é a quantidade de nitrogênio volatilizado acumulado na forma de NH₃ em kg ha⁻¹ em um determinado momento;

α: é o valor da volatilização acumulada em relação ao tempo (volatilização máxima);

β: é o momento em que α atinge a metade de seu valor máximo, correspondendo ao ponto de inflexão da curva (dia em que ocorre a perda máxima diária de N-NH₃);

γ: é um parâmetro usado para obter a perda máxima diária de N-NH₃ (PMD).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 é mostrada a evolução da volatilização de N-NH₃, observando-se picos já no quinto dia, que decresceram com valores se aproximando de zero a partir dos 64 dias, em todos os tratamentos.

Picos de volatilização nos primeiros dias foram registrados por Giacomini et al. (2013) com dejetos líquidos de suíno aplicados em superfície, em condições de laboratório, que relataram maiores perdas de N-NH₃ nos primeiros 5 dias de avaliação com o máximo de perdas no primeiro e segundo dia. Port et al. (2003), trabalhando com dejetos de suínos em sistema plantio direto, verificaram que a maior parte das perdas de N-NH₃ ocorre nas primeiras horas após a aplicação dos dejetos no campo, e foram proporcionais às doses aplicadas. Vanin (2010) registrou pico de volatilização de amônia após 48 horas da aplicação dos materiais, observando que a cama de frango proporcionou menor volatilização de amônia em relação à uréia e aos dejetos líquidos de suínos, tendo sido todos aplicados em cobertura.

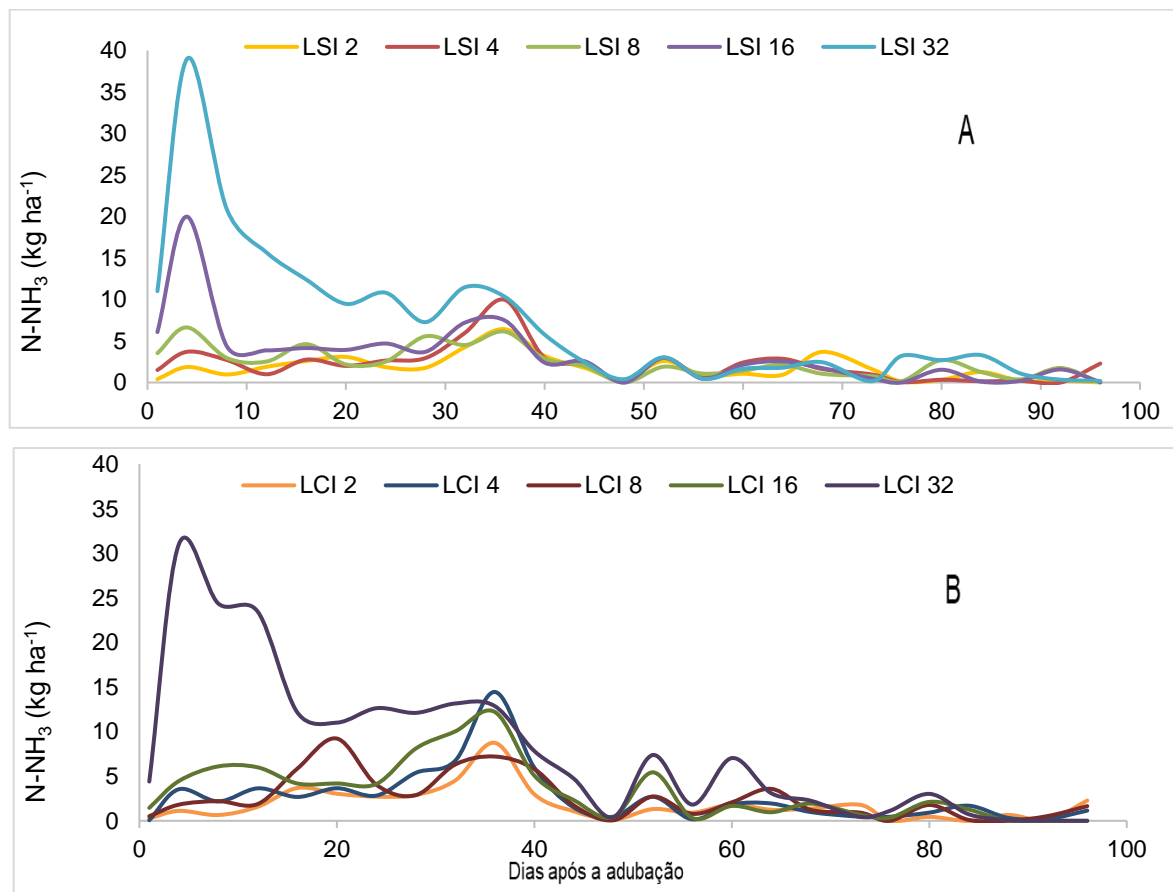
Machado (2015) em trabalho realizado com uréia convencional e fertilizantes nitrogenados na dose de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aplicados a lanço e em cobertura na cultura do milho irrigado com lâmina variável, observaram picos de volatilização entre o segundo e o sexto dia da aplicação, com as perdas de N-NH₃ mantendo-se constante e em valores baixos em todos os tratamentos, após 16 dias da operação. Resultados semelhantes foram obtidos por Minato et al. (2016) que avaliaram uréia e diferentes fontes nitrogenadas minerais na dose de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, distribuídos a lanço, também observaram pico de volatilização para todas as fontes testadas entre o terceiro e o quinto dia após a aplicação.

O maior período de volatilização (64 dias ou mais) registrado neste trabalho, possivelmente esteja associado à reatividade mais lenta do esterco de galinha, comparada ao observado com dejetos líquidos de suínos (GIACOMINI, et al. 2013; PORT et al. 2003). A presença de água nos dejetos líquidos de suínos ou alta solubilidade das fontes nitrogenadas amoniacais inorgânicas favoreceriam a volatilização mais rápida do N-NH₃ nestas fontes.

Apesar dos compostos orgânicos apresentarem moléculas complexas, em diferentes graus de recalcitrância, sendo necessárias à sua decomposição e mineralização para a liberação dos nutrientes, eles apresentam dinâmica de

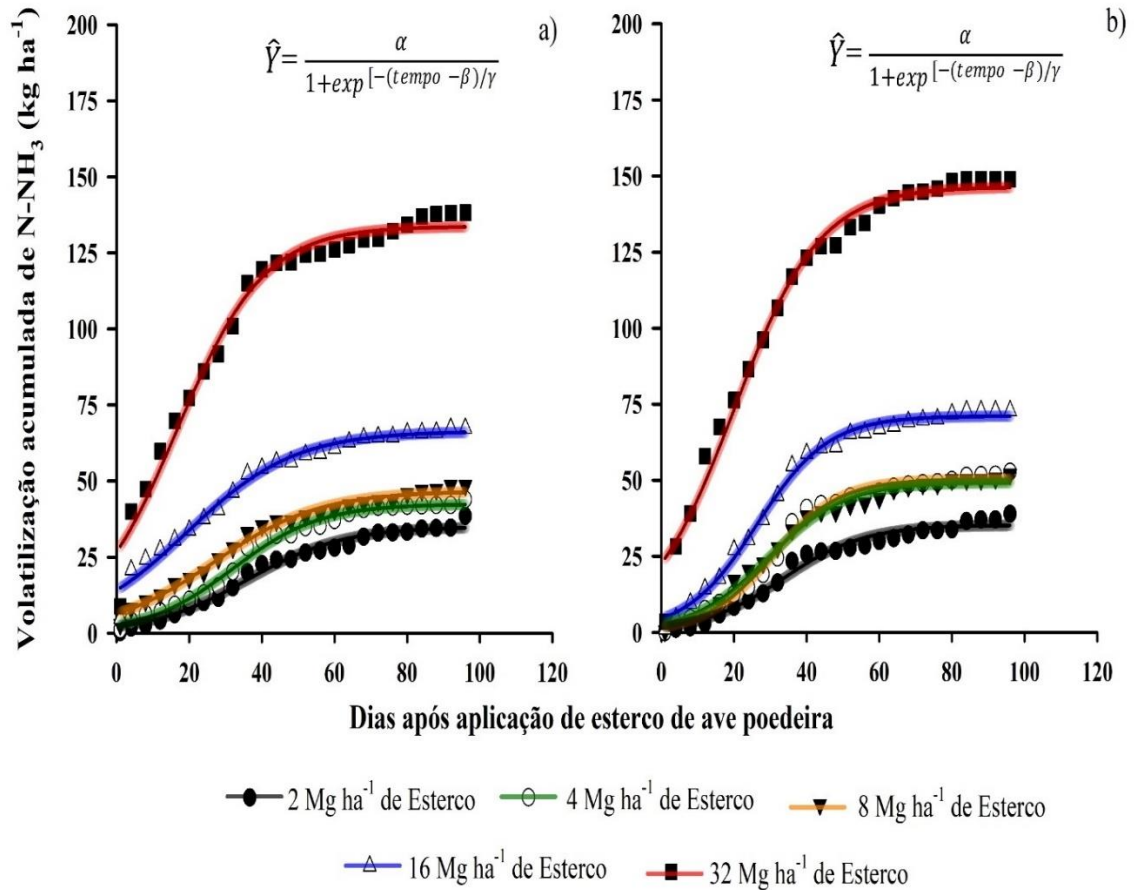
volatilização de N-NH_3 semelhante aos adubos minerais, que são altamente solúveis e com seus nutrientes prontamente disponíveis (CANTARELLA, 2007a).

Figura 7 Perdas diárias de N-NH_3 (kg ha^{-1}) em função de doses de esterco de galinha poedeira de acordo com o tempo e modo de distribuição do esterco: (A) a lanço no solo sem incorporação (LSI) e (B) a lanço no solo com incorporação (LCI).



A evolução acumulada da volatilização de N-NH_3 nas diferentes doses de esterco de galinha poedeira em função do tempo é apresentada na figura 08.

Figura 8 Perdas acumuladas de N-NH₃ (kg ha⁻¹) nas diferentes doses de esterco de galinha poedeira em função do tempo (dias) no modo de distribuição: A- aplicação a lanço sem incorporação, B –aplicação a lanço com incorporação.



A volatilização acumulada de N-NH₃ nas diferentes doses em função do tempo ajustou-se ao modelo não linear logístico, descrito por Seber e Wild, 2003, definido pela equação 7. Os valores dos parâmetros das equações são apresentados na tabela 03.

Tabela 3 Parâmetros das equações de volatilização de N-NH₃ em função do tempo, em cada dose de esterco de galinha poedeira, no modo aplicação a lanço sem incorporação (LSI) e aplicação a lanço com incorporação (LCI)

Modo de aplicação no solo	Dose t ha ⁻¹	Parâmetro			R ²	PMD ⁴ kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ N-NH ₃
		α^1 kg ha ⁻¹ N-NH ₃	Γ^2	B^3 Dia		
LSI	2	35,01	13,32	35,9	0,99	0,66
	4	42,47	11,99	32	0,99	0,89
	8	46,74	14,59	26,8	0,99	0,8
	16	66,38	14,82	19,4	0,98	1,12
	32	133,75	12,01	16,7	0,98	2,78
LCI	2	35,29	11,19	33,4	0,98	0,79
	4	50,29	9,21	30,5	0,99	1,37
	8	49,33	10,5	29,5	0,99	1,17
	16	71,09	9,81	26,4	0,99	1,81
	32	146,48	11,79	20	0,99	3,11

- ¹ α é o valor da volatilização acumulada em relação ao tempo (volatilização máxima);
- ² β é o momento em que α atinge a metade de seu valor máximo, correspondendo ao ponto de inflexão da curva (dia em que ocorre a perda máxima diária de N-NH₃);
- ³ γ é um parâmetro usado para obter a perda máxima diária de N-NH₃ (PMD);
- ⁴ PMD é a perda máxima diária estimada;
-

Neste experimento, a volatilização diária (pico) variou nas diferentes doses. Na aplicação a LSI o tempo estimado em que ocorreu metade da perda máxima (MPM) foi no 35,9^o; 32^o; 26,8^o; 19,4^o e 16,7^o dia para as doses 2, 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹ respectivamente. Na aplicação a LCI a MPM foi estimada ocorrendo no 33,4^o; 30,5^o; 29,5^o; 26,4 e 20^o dia para as doses 2, 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹ respectivamente (Tabela 3). Picos de volatilização foram registrados já nos primeiros dias, porém, continuou ocorrendo a volatilização por um período maior, com picos de volatilização que decrescem em intensidade, com a volatilização atingindo valores próximos de zero, em todos os tratamentos, a partir dos 64 dias, conforme verificado na Figura 7 e 8.

Na Tabela 4 são apresentadas as médias dos resultados de volatilização de N-NH₃ acumulada aos 96 dias, no final do experimento.

Tabela 4 Média da volatilização de N-NH₃ (kg ha⁻¹) acumulada aos 96 dias em função de doses de esterco de galinha poedeira, não incorporado (LSI) e incorporado (LCI); da adubação mineral; quantidade de nitrogênio adicionado de acordo com as doses (kg ha⁻¹) e o p

TRATAMENTOS		N- NH ₃ volatilizado	N adicionado	NVA ¹
MODO	DOSE (t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(%)
	0	37,38	0	-
LSI	2	33,63	72,6	-
LCI	2	36,22	72,6	-
LSI	4	43,91	145,2	4,5
LCI	4	51,83	145,2	9,95
LSI	8	48,46	290,4	3,82
LCI	8	51,89	290,4	5
L SI	16	67,32	580,8	5,15
LCI	16	64,78	580,8	4,72
L SI	32	138,34	1161,6	8,69
LCI	32	157,61	1161,6	10,35
Mineral	0,1786	40,97	14,24	25,2

$${}^1\text{NVA (\%)} = \left[\frac{(\text{N-NH}_3 \text{ volatilizado do adubo} - \text{N-NH}_3 \text{ volatilizada dose zero})}{\text{N adicionado}} \right] \times 100$$

. Observa-se uma tendência de aumento da volatilização de N-NH₃ em função das doses, não tendo sido observado efeito do modo de distribuição e da interação modo x dose.

As perdas de N-NH₃ provenientes do esterco de galinha poedeira variaram de 3,82% a 10,35% do total de N-orgânico adicionado na dose de 8 t ha⁻¹ (a lanço) e na dose de 32 t ha⁻¹ (lanço incorporado), respectivamente. Entretanto, todos os tratamentos que receberam adubação orgânica registraram menores percentuais de volatilização que os 25,2 % registrados no tratamento que recebeu adubação mineral.

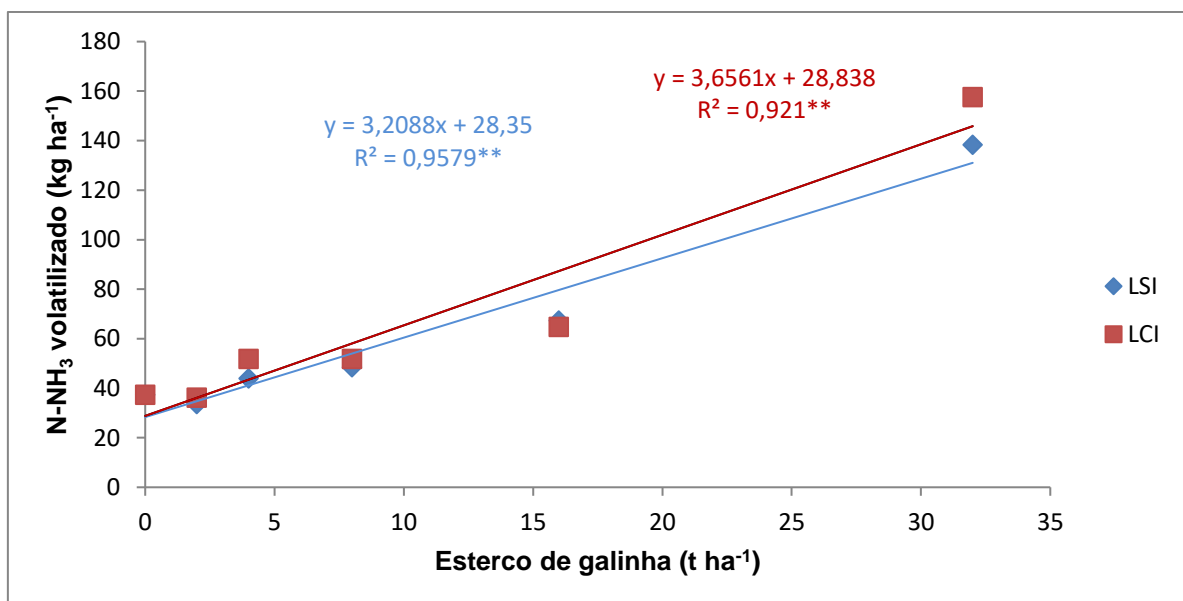
Vanin (2010) trabalhando com dejetos líquidos de suínos aplicados em superfície com doses entre 0 e 100 m³ ha⁻¹ obtiveram perdas por volatilização de amônia de 17 a 39% do total de N aplicado após 6 dias de avaliação, corroborando com resultados encontrados por Basso et al. (2004) que trabalharam com doses de 0 a 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos aplicados superficialmente verificaram perdas por volatilização de amônia entre 15 e 39% do N total aplicado após 6 dias de avaliação.

Port et al. (2003), em experimento conduzido no outono com doses de 0 a 80 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos aplicados em superfície obtiveram, após 73 horas de avaliação, perdas de N-NH_3 de 13 a 18% do N amoniacal aplicado; em experimento conduzido no verão com as mesmas doses de dejetos, obtiveram após 157 horas de avaliação perdas de N-NH_3 de 6,5 a 11% do N amoniacal aplicado.

Os menores valores percentuais observados neste trabalho sugerem que a natureza líquida dos dejetos líquidos suínos e a aplicação superficial deles favoreceram a volatilização da amônia nestes materiais, tal como observado nos adubos amoniacais solúveis. Segundo Cantarella (2007b) a uréia quando distribuída e não incorporada ao solo está sujeita a perdas de N-NH_3 por volatilização, pode atingir até 60% do N aplicado, sendo dependente das condições ambientais e do manejo. Machado (2015) observaram 60% de volatilização de N-NH_3 na dose de uréia (100 kg ha^{-1} de nitrogênio) aplicada em superfície, sem incorporação, durante os vinte e quatro dias de duração do experimento, sendo esta volatilização maior e mais rápida que a registrada no esterco de galinha poedeira.

A volatilização de N-NH_3 aumentou linearmente com as doses de esterco de galinha poedeira (Figura 9), com dados ajustando-se ao modelo de regressão linear ($p < 0,01$).

Figura 9. N-NH_3 volatilizado acumulado aos 96 dias, em função das doses de esterco de galinha poedeira aplicado a lanço sem incorporação (LSI) e a lanço com incorporação (LCI)



O aumento das quantidades de N-NH₃ volatilizadas com o aumento da dose vai ao encontro de resultados registrados por Miola et al. (2014) em cama de frango e dejetos de galinha poedeira; por Vanin (2010), Basso et al. (2004) e Port et al. (2003) em trabalhos com doses crescentes de dejetos de suínos aplicados em superfície. Por outro lado, o N-NH₃ volatilizado (Tabela 3), acumulado aos 96 dias, embora ligeiramente superiores nos tratamentos a lanço incorporado, exceção observada na dose 16 t ha⁻¹, não foi significativamente influenciado pelo modo de incorporação em nenhuma das doses.

Os resultados obtidos neste experimento, quanto ao modo de aplicação, são discordantes dos registrados por outros autores. Giacomini et al. (2013) em trabalho realizado com dejetos líquidos de suíno em laboratório registraram redução de 93% das perdas de N-NH₃ quando os dejetos foram incorporados e que quando aplicados sem incorporação as volatilizações foram semelhantes em solos com palha e sem palha de aveia preta em cobertura. Por outro lado, Port et al. (2003) registraram que a aplicação de dejetos de suínos sobre os resíduos culturais de aveia preta, em sistema de plantio direto, reduziu as perdas de N-NH₃ por volatilização, comparado ao uso dos dejetos sobre os resíduos culturais da vegetação espontânea do pousio invernal na região de Santa Maria – RS.

Miola et al. (2014) trabalhando com dejetos de galinhas poedeiras e frangos de corte distribuídos em cobertura no solo sem incorporação obtiveram volatilização acumulada de N-NH₃, após 22 dias de aplicação, variando de 13,6 a 35,0% do total de nitrogênio aplicado, sendo que 20% das perdas totais ocorreram nas primeiras 4,5 horas após a aplicação, tendo recomendado incorporação dos dejetos ao solo.

O esterco de galinha poedeira usado neste experimento apresentava baixo teor de umidade (8,5%), constituído em sua maior parte por materiais sólidos e baixa relação C/N (5,37). Não obstante tenha havido incorporação do material, ressalte-se que ela se caracterizou pela mistura superficial do esterco com o solo e não seu total enterrio, com parte material ficando exposto. Admite-se que esta incorporação propiciou maior contato com a biota do solo, aumentando o processo de decomposição, com uma liberação um pouco mais rápida do N. Essa maior mineralização resultou em aumento da pressão de gás, contribuindo para a volatilização da N-NH₃, provenientes das frações parcialmente expostas. Assim, a

maior pressão de gás das frações parcialmente expostas atenuou o efeito de maior sequestro, esperado nas frações incorporadas.

5 CONCLUSÕES

A volatilização de N-NH₃ aumentou linearmente com o aumento da dose de esterco de galinha poedeira, aplicada em condições de campo.

A volatilização de N-NH₃, acumulado aos 96 dias, não diferiu quando o modo de aplicação do esterco de galinha poedeira foi a lanço superficial sem incorporação, ou lanço superficial e incorporado, nas condições edafoclimáticas do presente experimento.

6 REFERÊNCIAS

- AL-KAISI, M. M.; WASKOM, R. M. Estimating ammonia loss from sprinkler-applied swine effluent. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 5, p. 1156-1162, 2002.
- AUGUSTO, K. V. Z.; KUNZ, A. Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). **Manejo ambiental na avicultura**. Embrapa Suínos e Aves-Documentos (INFOTECA-E), 2011. p. 153-173.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S.; SILVEIRA, M. J. da. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1773-1778, 2004.
- BEEGLE, D. B.; KELLING, K. A.; SCHMITT, M. A. Nitrogen from animal manures. **AGRONOMY**, v. 49, p. 823, 2008.
- BHERING, S. B.; DOS SANTOS, H. G. (Ed.). **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Embrapa Solos, 2008.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470a.
- CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas IPNI**, n. 120, p. 12-13, 2007b.
- CASSITY-DUFFEY, K.; CABRERA, M.; REMA, J. Ammonia volatilization from broiler litter: effect of soil water content and humidity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, n. 2, p. 543-550, 2015.
- CLAESSEN, M. E. C. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 1997.
- DA SILVA, J. M. et al. Fases e atividades microbianas envolvidas na supressão da podridão radicular da mandioca por matéria orgânica. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 708-717, 2017.
- DE OLIVEIRA, F. F.; SALCEDO, I. H.; GALVÃO, S. R. S. Adubação orgânica e inorgânica de batatinha em solos arenosos: Produtividade, nutrientes na planta e lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 12, 2011.
- DE SOUZA, F. M. et al. Doses de esterco de galinha e água disponível sob o desenvolvimento inicial do milho. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 64-69, 2016.
- FERNANDES, J. D. et al. Adubação orgânica e mineral no desenvolvimento da mamoneira. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 06, n. 02, p. 358-368, 2009.

FERREIRA, D. F. Sistema de análises estatísticas-Sisvar 5.6. **Lavras: Universidade Federal de Lavras**, 2010.

GIACOMINI, S. J. et al. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquido e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 211-219, 2013.

GOMES, J. A. et al. Adubações orgânica e mineral, produtividade do milho e características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, n. 3, 2005.

GONZATTO, R. et al. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. **Ciência Rural**, v. 43, n. 9, p. 1590-1596, 2013.

IBGE- SIDRA. Sistema IBGE de recuperação automática – Produção pecuária municipal 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>>. Acesso em: 30 junho 2020.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estação meteorológica de observação de superfície automática – Diamante do Norte-PR. Disponível em: <https://inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTg0OQ==>. Acesso em: 27 outubro 2019.

MACHADO, Vanessa Junia. **Aplicação de fertilizantes com diferentes tecnologias: volatilização de NH₃**. 2015. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2015.

MINATO, E. A. et al. **Volatilização de N-NH₃ de diferentes fontes nitrogenadas após aplicação de doses de calcário**. In: XI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 2016, Frederico Westphalen, RS. Anais da XI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

MIOLA, E. C. C. et al. Ammonia Volatilization after Surface Application of Laying-Hen and Broiler-Chicken Manures. **Journal of environmental quality**, v. 43, n. 6, p. 1864-1872, 2014.

MIYAZAWA, M. Método de captação da amônia volatilizada de solo. Londrina. IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. 2007;2.

OLIVEIRA, A. P. et al. Yield of sweet potato fertilized with cattle manure and biofertilizer. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 277-281, 2010.

OLIVEIRA, E.L. de (Coord.). **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2003. 30p.

OLIVEIRA, M. C. de et al. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 951-954, 2003.

OLIVEIRA, M. C.; FERREIRA, H. A.; CANCHERINI, L. C. Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 56, n. 4, p. 536-541, 2004.

PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 857-865, 2003.

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C. S.; NARITA, N. **Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.43, n.3, p. 247-254, 2013.

ROTHROCK, M. J. et al. Microbial mineralization of organic nitrogen forms in poultry litters. **Journal of environmental quality**, v. 39, n. 5, p. 1848-1857, 2010.

SEBER, G. A. F.; WILD, C. J. **Nonlinear Regression**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

SILVA, F. C. da S. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

TRANI, P. E. et al. **Superfosfato simples com esterco animal: um bom fertilizante organomineral**. 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/Organomineral/Index.htm>. Acesso 30 junho 2020.

VANIN, A. **Perda de nitrogênio por volatilização de amônia proveniente da aplicação superficial de resíduos orgânicos**. 2010. 45 f. Tese (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Rio Verde, Goiás, 2010.