

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO ADICIONADO AO
SOLO COM CAMA DE AVIÁRIO E SUA INFLUÊNCIA
NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO E DO CARBONO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Andressa Ballem

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO ADICIONADO AO SOLO
COM CAMA DE AVIÁRIO E SUA INFLUÊNCIA NA
DINÂMICA DO NITROGÊNIO E DO CARBONO**

Andressa Ballem

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Celso Aita

Santa Maria, RS, Brasil

2011

Ballem, Andressa

Inibidor de nitrificação adicionado ao solo com cama de aviário e sua influência na dinâmica do nitrogênio e do carbono / Andressa Ballem.-2011.

58 p. ; 30cm

Orientador: Celso Aita

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2011

1. Dicianodiamida 2. mineralização do carbono 3. mineralização do nitrogênio I. Aita, Celso II. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Andressa Ballem. A reprodução de partes ou do todo **deste** trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Avenida Presidente Vargas, n. 1303, Bairro Nossa Senhora de Fátima, Santa Maria, RS. CEP: 97015-511

E-mail: andressaballembio@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO ADICIONADO AO SOLO COM CAMA
DE AVIÁRIO E SUA INFLUÊNCIA NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO
E DO CARBONO**

elaborada por
Andressa Ballem

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Celso Aita, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)

Frederico Costa Beber Vieira, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 31 de agosto 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, que está sempre ao meu lado, especialmente a minha irmã Tatiana que me ajudou muito nessa etapa da minha vida.

Aos meus pais, Juarez e Otilia (*in memoriam*), pois eles são a razão de minha existência.

Aos meus amigos e amigas com quem tenho convivido e são pessoas muito especiais para mim.

A todos os colegas do Laboratório de Microbiologia do Solo e Ambiente, em especial ao meu orientador, que sem eles não conseguiria concluir essa etapa.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria – pela qualidade do ensino público e gratuito;

A meus pais, Otília e Juarez, em especial à minha mãe, por ter me incentivado desde criança a estudar, mesmo nos deixando tão cedo.

A minha irmã Tatiana e meus irmãos Fabiano, Daltron e Flávio.

A minha família, tias, tios, primas e primos.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e a CAPES.

Ao Departamento de Solos, seus professores e funcionários pelos ensinamentos e amizade ao longo do curso.

Ao orientador, professor Celso Aita, pela orientação, ensinamentos e por ter me ajudado a concluir essa etapa, serei sempre grata. E ao professor Sandro José Giacomini, pela orientação e auxílio nas análises estatísticas.

Aos colegas e amigos do laboratório de Microbiologia do Solo e do Ambiente, em especial Stefen e a Janqueli, por terem convivido comigo, me auxiliando sempre quando precisei.

Aos demais colegas e amigos da Microbiologia, alguns por mais de 5 anos de convivência, pela parceria nas análises, festas, congressos e amizades.

Ao André Paulo Hübner (*in memoriam*), pessoa imprescindível e responsável pelo meu ingresso no Laboratório de Microbiologia e à Aline que me apresentou o laboratório.

Aos amigos de faculdade, de apartamento, de trabalho, de mestrado e de vida pelo apoio, incentivo e confiança desde o início do mestrado.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, e não estão nominalmente citados.

Muito Obrigada a todos!

“Não sabemos quanto tempo nos resta, não podemos desperdiçá-lo lamentando coisas que não podemos mudar!”

(Stephen King)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO ADICIONADO AO SOLO COM CAMA DE AVIÁRIO E SUA INFLUÊNCIA NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO E DO CARBONO

AUTORA: ANDRESSA BALLEM
ORIENTADOR: CELSO AITA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de agosto de 2011.

Inibidores de nitrificação podem reduzir o potencial de contaminação ambiental de dejetos de animais, relativamente à lixiviação de nitrato (NO_3^-) e à emissão de óxido nitroso (N_2O). Todavia, essa estratégia não tem sido suficientemente avaliada pela pesquisa, especialmente com a cama de aviário (CA). Por isso, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o efeito do produto “Agrotain Plus” (AP), o qual contém 81% de dicianodiamida (DCD), sobre a inibição da nitrificação, a volatilização de amônia (NH_3) e a mineralização do carbono (C) e do nitrogênio (N) da CA. Foram conduzidos dois experimentos em laboratório, em solo da camada 0-10 cm de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Num experimento, conduzido durante 54 dias, os tratamentos constaram da incorporação ao solo de CA ($4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, massa seca), sem AP e juntamente com as doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha^{-1} de AP, além de um tratamento sem CA e sem AP (testemunha). No outro experimento, conduzido durante 69 dias, além desses tratamentos havia dois com adição da CA na superfície do solo, com e sem adição de AP (7 kg ha^{-1}). O AP, contendo DCD como inibidor da nitrificação, retardou o aparecimento de NO_3^- no solo, sendo que esse efeito inibitório da nitrificação foi mais intenso na maior dose de AP (14 kg ha^{-1}). A volatilização de NH_3 ocorreu apenas quando a CA permaneceu na superfície do solo e foi favorecida pela adição de AP. A adição do AP aumentou a mineralização do C e do N da CA em 4 e 28%, respectivamente. Os resultados deste trabalho indicam que a dicianodiamida (DCD), contida no produto Agrotain Plus, reduz a taxa de nitrificação do N amoniacal da cama de aviário no solo e poderá constituir uma estratégia para preservar o N deste material orgânico, além de reduzir o seu potencial poluidor do ambiente.

Palavras-chave: Dicianodiamida, mineralização do carbono, mineralização do nitrogênio

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Graduation Program in Soil Science
Universidade Federal de Santa Maria

NITRIFICATION INHIBITOR ADDED TO SOIL WITH POUTRY MANURE INFLUENCING NITROGEN AND CARBON DYNAMICS

AUTHOR: ANDRESSA BALLEM

ADVISER: CELSO AITA

Defense Place and Date: Santa Maria, August 30nd, 2011.

Nitrification inhibitors can reduce the potential for environmental contamination of animal wastes, relatively to nitrate (NO_3^-) leaching and nitrous oxide (N_2O) emission. However, this strategy has not yet been sufficiently evaluated by research, especially with poultry litter (PL). Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the product "Agrotain Plus" (AP), containing 81% of dicyandiamide (DCD), on the nitrification inhibition, ammonia (NH_3) volatilization and carbon (C) and nitrogen (N) PL mineralization. Two laboratory experiments were conducted, using a Hapludalf soil collected in the 0-10 cm layer. In one experiment, conducted for 54 days, the treatments consisted of PL (4.7 Mg ha^{-1} , dry basis) incorporated in the soil, without and with AP doses (3.5 , 7.0 and 14 kg ha^{-1}), and without PL or AP (control). In the other experiment, conducted for 69 days had all these treatments plus two additional treatments of CA on the soil surface, without and with AP (7 kg ha^{-1}). The AP delayed NO_3^- production in soil, and this inhibitory effect was more intense at the highest dose of AP (14 kg ha^{-1}). NH_3 volatilization occurred only when PL remained on the soil surface and was favored by the addition of AP. The AP addition increased PL C- and N-mineralization by 4 and 28%, respectively. The results of this study indicated that dicyandiamide (DCD), contained in the product Agrotain Plus, reduces the nitrification rate of PL ammonia in soil and could be a strategy to preserve the N of this organic material and reduce potential pollution of the environment.

Key words: Dicyandiamide, carbon mineralization, nitrogen mineralization

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Quantidades de (a) $N-NH_4^+$ e (b) $N-NO_3^-$ nos tratamentos com adição de cama de aviário (CA) sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 $kg\ ha^{-1}$ e no solo do tratamento testemunha (S)..... 24

Figura 2 - Proporção de $N-NH_4^+$ e de $N-NO_3^-$ no solo dos tratamentos com adição de cama de aviário (CA) sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 $kg\ ha^{-1}$ 27

Figura 3 - Produção líquida de $N-NO_3^-$ no solo dos tratamentos com adição de cama de aviário (CA) sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 $kg\ ha^{-1}$ 29

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Fluxos de NH_3 nos tratamentos com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 $kg\ ha^{-1}$ e no tratamento com CAs + 7kg de AP ha^{-1}41

Figura 2 - Volatilização de NH_3 , expressa como um porcentagem no N amoniacal aplicado ao solo com a cama de aviário, nos tratamentos com cama incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs), nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 $kg\ ha^{-1}$ e no tratamento com CAs + 7 kg de AP ha^{-1} 42

Figura 3 - N mineral (a) e N mineralizado (b) nos tratamentos testemunha (S), com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 $kg\ ha^{-1}$ e nos tratamento com CAs + 7 kg de AP ha^{-1} 45

Figura 4 - Fluxos de CO_2 no tratamento testemunha (S), nos tratamentos com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 $kg\ ha^{-1}$ e no tratamento com CAs + 7kg de AP ha^{-1} 49

Figura 5 - CO_2 liberado (a) e C mineralizado (b) nos tratamentos testemunha (S), com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 $kg\ ha^{-1}$ e nos tratamento com CAs + 7kg de AP ha^{-1} 51

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1

Tabela 1 – Teores de matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N) na cama de aviário, valores da relação C/N e pH e quantidades de MS, C e N adicionadas ao solo com a cama de aviário.....	20
Tabela 2 – Equações lineares ajustadas aos valores observados para a produção líquida de N-NO ₃ ⁻ no solo dos tratamentos com adição de cama de aviário sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha ⁻¹ , aos 54 dias após o início da incubação.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DCD	Dicianodiamida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NBPT	N-(n-butil) triamida tiofosfórica
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2 CAPÍTULO 1.....	15
2.1 Introdução	17
2.2 Materiais e Métodos.....	19
2.3 Resultados e Discussão.....	23
2.4 Conclusões	32
3 CAPÍTULO 2.....	33
3.1 Introdução	35
3.2 Materiais e Métodos.....	37
3.3 Resultados e Discussão.....	39
3.4 Conclusões	53
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1 INTRODUÇÃO GERAL

O resíduo orgânico gerado pela criação de frangos de corte em granjas, constituído por restos de ração, fezes, urina, penas e pelo substrato absorvente colocado no chão dos galpões onde os animais ficam alojados, é comumente denominado de cama de aviário ou cama de frango. Após a criação de um número variável de lotes de frangos sobre a mesma cama o material é substituído, sendo utilizado diretamente como adubo orgânico ou submetido à compostagem.

O número de frangos de corte abatidos no primeiro trimestre de 2011, apenas nos três estados da região Sul do Brasil, foi de 766.783.917 (IBGE, 2011). Assumindo que, ao final do primeiro lote criado sobre a cama, cada ave produza o equivalente a 1,49 kg de cama, conforme determinado por Fukayama (2008), o rebanho de frangos da região sul produziria, a cada trimestre, cerca de 1,14 milhões de toneladas de cama. Tais cifras evidenciam a necessidade de buscar alternativas que possibilitem a ciclagem eficiente dos nutrientes contidos na cama gerada pela avicultura de corte. Em função do tipo de alimentação fornecida aos animais e do modelo de criação utilizado, com grande concentração de animais em pequenas áreas, a cama de aviário caracteriza-se por apresentar teores elevados de nutrientes, com destaque para o nitrogênio (N). Por isso, um dos principais destinos da cama tem sido o seu uso como fertilizante em culturas anuais como o milho (SCHERER; NESI, 2007; DIAZ et al., 2008) e feijão (SCHERER; BARTZ, 1984), além de hortaliças (CASTRO et al., 2005).

Apesar dos efeitos positivos da cama de aviário sobre a produtividade das culturas, o seu uso agrícola também pode resultar em poluição ambiental, especialmente da atmosfera, através da emissão de óxido nitroso (N_2O) via desnitrificação e dos mananciais de superfície e da água do lençol freático, via lixiviação de nitrato (NO_3^-). Esse tipo de poluição depende muito da quantidade de N mineral presente na cama no momento da sua aplicação ao solo, além das taxas de conversão microbiana do N orgânico da cama em amônia (NH_3) e desta em nitrato. A velocidade com que o N orgânico da cama é mineralizado e nitrificado é um aspecto ainda relativamente pouco estudado no Brasil. Se esses dois processos, realizados pela população microbiana heterotrófica e por bactérias autotróficas, respectivamente, ocorrerem a taxas elevadas, o NO_3^- resultante estará presente no solo logo após a aplicação da cama, quando a demanda em N das culturas ainda é pequena. Com isso, o NO_3^- estará susceptível a perdas por lixiviação, escoamento superficial e desnitrificação, com

conseqüências negativas tanto do ponto de vista agrônômico quanto ambiental. Além do N, a velocidade de mineralização do carbono (C) orgânico da cama terá implicações importantes do ponto de vista agrônômico e ambiental, pelo fato dela afetar o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) e a emissão de CO₂, um dos principais gases de efeito estufa (GEE).

Uma das estratégias para reduzir o impacto ambiental dos dejetos de animais consiste em aplicar os dejetos de modo parcelado nas culturas e também em reduzir a velocidade em que o N amoniacal dos mesmos é convertido para nitrato no solo, através da ação das bactérias nitrificadoras. Para reduzir a ação dessas bactérias, principalmente em áreas com acúmulo de urina de vacas em lactação da Nova Zelândia, têm sido testados produtos inibidores de nitrificação, sendo que um dos produtos registrados para uso com essa finalidade é a dicianodiamida (DCD) (MOIR et al., 2007). No Brasil, as primeiras referências relativas ao uso desse produto são recentes e se referem a trabalhos com o produto Agrotain Plus, o qual contém na sua composição 81% de DCD, aplicado a dejetos líquidos de suínos em condições de laboratório (STÜKER, 2010) e de campo, em plantio direto de milho (DAMASCENO, 2010). Os trabalhos com o uso de DCD em esterco de aves são raros no exterior (ASING et al., 2008) e praticamente inexistentes ainda no Brasil.

Este trabalho teve como objetivo principal o de avaliar o efeito do produto Agrotain Plus, adicionado ao solo juntamente com cama de aviário, sobre a volatilização de NH₃, a nitrificação do nitrogênio amoniacal e a mineralização do carbono e do nitrogênio da cama. A dissertação está dividida em dois capítulos, abordando diferentes aspectos do ciclo do C e do N. O primeiro capítulo envolve a nitrificação do N amoniacal da cama de aviário e o segundo as perdas de N por volatilização de amônia e a mineralização do C e do N da cama.

2 CAPÍTULO 1

Eficiência da dicianodiamida (DCD) em inibir a nitrificação do nitrogênio de cama de aviário no solo

RESUMO

Após a aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos ao solo a nitrificação é, normalmente, rápida, o que pode resultar em perdas de nitrato (NO_3^-) por lixiviação e desnitrificação. Quando isso ocorre, as consequências são negativas tanto do ponto de vista agrônomo quanto ambiental, o que constitui um desafio à pesquisa em buscar alternativas para reduzir a taxa de nitrificação. Uma dessas estratégias, ainda pouco estudada no Brasil, envolve o uso de inibidores de nitrificação. Por isso, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a eficiência do produto “Agrotain Plus” (AP), o qual contém 81% do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD), em inibir esse processo no solo, quando misturado à cama de aviário (CA). Os tratamentos constaram da incorporação ao solo de CA ($4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, base seca), sem AP e juntamente com as doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha^{-1} de AP. Além destes havia um tratamento sem CA e sem AP (testemunha). O experimento constou da incubação em laboratório de um solo coletado na cama 0-10 cm de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. A nitrificação foi monitorada através da determinação periódica dos teores de (amônio) NH_4^+ e NO_3^- no solo durante 54 dias. A maior taxa de nitrificação ocorreu no tratamento em que a CA foi incorporada ao solo sem AP. As doses de 3,5 e $7,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de AP inibiram parcialmente a nitrificação do N amoniacal da CA na fase inicial da incubação, perdendo a capacidade de inibir esse processo no período entre 12 e 27 dias. O tratamento com a maior dose de AP (14 kg ha^{-1}) foi aquele em que a dicianodiamida (DCD) exerceu maior efeito inibitório da nitrificação, preservando maior quantidade de NH_4^+ e retardando o aparecimento de NO_3^- no solo. Os resultados deste trabalho indicam que a dicianodiamida (DCD), contida no produto Agrotain Plus, reduz a taxa de nitrificação do N amoniacal da cama de aviário no solo e poderá constituir uma estratégia para preservar o N deste material orgânico, além de reduzir o seu potencial poluidor do ambiente.

Palavras-chaves: dinâmica do N, lixiviação de NO_3^- , desnitrificação.

Dicyandiamide (DCD) efficiency as a nitrification inhibitor of nitrogen from poultry manure in soil

ABSTRACT

After application of mineral and organic fertilizers in soil, nitrification is usually fast, which can result in losses of nitrate (NO_3^-) by leaching and denitrification. When this happens, the consequences are negative both in terms of agronomic and environmental, which constitutes a research challenge to find alternatives to reduce the rate of nitrification. One of these strategies, yet little studied in Brazil, involves the use of nitrification inhibitors. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of "Agrotain Plus" (AP), which contains 81% of dicyandiamide (DCD) as a nitrification inhibitor of nitrogen from poultry manure (PM) in soil. Treatments consisted of soil with PM (4.7 Mg ha^{-1} , dry basis), without AP and with the doses of 3.5, 7.0 and 14.0 kg ha^{-1} of AP. Moreover there was one treatment without AP and AP (control). The experiment consisted of a laboratory incubation of soil collected in the layer 0-10 cm of an Hapludalf. Nitrification was monitored by measuring changes in total soil mineral N (NH_4^+ and NO_3^-) periodically over 64 days. The highest rate of nitrification occurred in the treatment in which the CA was incorporated into the soil without AP. The doses of 3.5 and 7.0 kg ha^{-1} of AP inhibited partially the nitrification of ammoniacal nitrogen of CA in the initial phase of incubation, losing the ability to inhibit this process in the period between 12 and 27 days. The treatment with the higher dose of AP (14 kg ha^{-1}) was on in which the dicyandiamide (DCD) exerted more inhibitory effect on nitrification, preserving most NH_4^+ and delaying the onset of NO_3^- in soil. The results of this study indicate that the dicyandiamide (DCD), contained in the product Agrotain Plus, reduces the rate of nitrification of ammoniacal nitrogen from poultry manure in soil and could be a strategy for preserving the N of this organic material, and reduce your potential pollution of the environment.

Keywords: N dynamics, NO_3^- leaching, denitrification.

2.1 Introdução

O uso agrícola da cama de aviário, principalmente nas culturas do milho e feijão, é uma prática relativamente antiga no Brasil, especialmente nos estados do Sul do Brasil, onde a avicultura ocupa lugar de destaque na economia dessas regiões. O interesse no uso da cama se deve não apenas à matéria orgânica que ela adiciona ao solo, mas também ao conjunto de nutrientes essenciais às plantas que estão contidos na mesma, o que melhora aspectos qualitativos do solo, com destaque às funções ligadas aos macro e microrganismos.

Entre os nutrientes presentes na cama, o nitrogênio (N) é aquele que normalmente aparece em maiores concentrações, em função da dieta fornecida às aves, que é rica em proteínas. Embora o N seja o principal nutriente regulador do crescimento das plantas, ele pode contribuir à degradação ambiental, através de emissões gasosas de amônia (NH_3) e óxido nitroso (N_2O) ou lixiviação de nitrato (NO_3^-). Além disso, o NO_3^- poderá ser transferido via escoamento superficial aos mananciais de superfície, provocando eutrofização. As emissões de N_2O contribuem ao aquecimento global e à destruição da camada de ozônio, enquanto as emissões de NH_3 resultam em chuva ácida e na produção secundária de N_2O (SINGH et al., 2008b; ASING et al., 2008). Quanto ao NO_3^- , ele pode ser perdido por lixiviação e poluir as águas de superfície e também do lençol freático (MOIR et al., 2007). Portanto, a presença de NO_3^- no solo, em quantidades que excedam a demanda das plantas e dos microrganismos, aumenta o risco de poluição ambiental decorrente da fertilização nitrogenada, tanto de origem mineral quanto orgânica.

A rapidez com que o N amoniacal presente inicialmente nos dejetos de animais é oxidado para NO_3^- , principalmente através da ação das bactérias nitrificadoras quimioautotróficas, irá determinar o potencial poluidor do ambiente, relativo a essa forma de N mineral. Trabalhando com dejetos de suínos em plantio direto, Aita et al. (2007), constataram que nos primeiros 15 a 20 dias a quantidade de N amoniacal, aplicada com as doses de 40 e 80 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de dejetos, foi completamente oxidada para NO_3^- , evidenciando a rápida taxa de nitrificação sob condições de campo. O rápido acúmulo de NO_3^- no solo também foi constatado por Sauer et al. (2009) logo após a adição de cama de peru, onde essa forma de N aumentou de 17 para 61 kg ha^{-1} nos primeiros 8 dias. Na incubação realizada por Diaz et al. (2008), em temperatura constante de 25°C, o N de cama de frango e de peru foi totalmente nitrificado na primeira semana após a adição dos materiais orgânicos ao solo.

Uma das estratégias para retardar o aparecimento de NO_3^- no solo e, com isso, mitigar as perdas gasosas dessa forma de N por desnitrificação e também por lixiviação consiste em adicionar inibidores de nitrificação às fontes de N, tanto daquelas de origem mineral (CARNEIRO et al., 2010) quanto orgânica (MKHABELA et al., 2006). Um dos produtos mais utilizados nos últimos anos para esse fim é a dicianodiamida (DCD), que bloqueia a ação da enzima amônia monooxigenase, responsável pela oxidação de NH_4^+ para nitrito (NO_2^-) em *Nitrosomonas*, na primeira etapa da nitrificação (AMBERGER, 1989). Na maioria dos trabalhos com dejetos de animais, a aplicação de DCD foi realizada em locais onde ocorre o acúmulo de urina de vacas em lactação (DI et al., 2007). Em relativamente poucos estudos, a aplicação de DCD foi avaliada quanto a sua eficiência em inibir a nitrificação em dejetos de suínos no solo, sob condições de laboratório (MKHABELA et al., 2006; STÜKER, 2010) e de campo (DAMASCENO, 2010; MEIJIDE et al., 2007). Na maioria dessas situações, a aplicação de DCD retardou a nitrificação do N amoniacal dos dejetos, com redução na emissão de N_2O e na lixiviação de NO_3^- .

No Brasil, não foram encontrados trabalhos relatando o uso de DCD ou de outros produtos para inibir a nitrificação do N amoniacal de cama de aviário no solo. Mesmo em outros países, a aplicação de DCD para inibir a nitrificação em dejetos sólidos é um aspecto ainda relativamente pouco estudado (ASING et al., 2008). O elevado volume de cama de aviário produzido no Brasil, a rápida taxa de nitrificação do N contido na cama e as implicações ambientais negativas que isso pode representar evidenciam a necessidade de avaliar a eficiência de inibidores de nitrificação, quando aplicados ao solo juntamente com a cama de aviário. Esse foi o objetivo do presente trabalho, conduzido sob condições de laboratório onde a cama de aviário foi incorporada ao solo com e sem a aplicação do produto Agrotain Plus, o qual contém 81% de DCD na sua composição.

2.2 Material e métodos

O trabalho iniciou com a coleta do solo em 15 de agosto de 2009 e consistiu de uma incubação a 25 °C, conduzida durante 54 dias no Laboratório de Microbiologia do Solo e do Ambiente do Departamento de Solos, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O solo foi coletado na camada de 0-10 cm de Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006) da área experimental do Departamento de Solos da UFSM. Na área em que o solo foi coletado vinha sendo cultivado milho em plantio direto desde 1998, sendo que a coleta foi realizada em parcela onde nunca havia sido utilizada adubação nitrogenada. Após a retirada dos resíduos culturais remanescentes na superfície, o solo foi coletado e transportado ao laboratório para peneiramento em malha de 4 mm, permanecendo armazenado úmido em sacos plásticos, em temperatura ambiente, até o momento da incubação, em 12 de setembro de 2009. As principais características químicas e físicas do solo foram as seguintes: pH água (1:1) = 5,0; MO (%) = 2,6%; Argila (%) = 24%; P (mg/dm³) = 3,0; K (mg/dm³) = 48; Al (cmol_c/dm³) = 2,0; Ca (cmol_c/dm³) = 1,4; Mg (cmol_c/dm³) = 0,6.

A cama de aviário, onde já haviam sido criados 10 lotes de frangos de corte sobre uma base de maravalha, foi coletada em 31 de agosto no município de Mormaço/RS. Amostras em triplicata de aproximadamente 8,0 g de cama foram mantidas em estufa a 65°C até peso constante a fim de determinar a matéria seca. Em outra amostra foram determinados os teores de N total Kjeldahl (NTK) e N mineral total (NH₄⁺ + NO₂⁻ + NO₃⁻) segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), sem secagem prévia da cama. Além dessas características, foi determinado o pH em amostra úmida e o teor de C em amostra seca a 65°C. A análise do C foi feita por combustão seca (DUMAS) em um analisador elementar CHNS modelo FlashEA 1112 marca THERMO ELECTRON. As principais características da cama de aviário, bem como as quantidades adicionadas ao solo de matéria seca, carbono e nitrogênio com a cama encontram-se na Tabela 1.

O produto avaliado quanto a sua eficiência em inibir a nitrificação do N amoniacal da cama de aviário foi Agrotain Plus, o qual é um composto químico na forma de pó concentrado, de cor azul e possui na sua formulação dois princípios ativos: o N-(n-butil) triamida tiofosfórica (NBPT), cuja concentração é de 6,5%, e a dicianodiamida (DCD) que representa 81,0% do produto. Os restantes 12,5% do produto são representados por corante e substâncias inertes. O NBPT inibe a ação da enzima urease, responsável pela conversão de uréia nas formas iônicas de NH₄⁺, hidroxila (OH⁻) e carbonato (CO₃²⁻) (ZAMAN et al., 2008),

enquanto a DCD age especificamente sobre *Nitrosomonas*, inibindo a enzima amônia mono-oxigenase, responsável pela primeira etapa da nitrificação (SUBBARAO et al., 2006).

Tabela 1. Teores de matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N) na cama de aviário, valores da relação C/N e pH e quantidades de MS, C e N adicionadas ao solo com a cama de aviário.

Cama de aviário	MS ⁽¹⁾	C	N				C/N	pH
			total	amoniacal	orgânico	nítrico		
Composição química	776,2	247,9	26,3	5,7	17,6	3,0	9,4	8,08
Quantidades adicionadas	7.800	2.491	265	57	177	31		

⁽¹⁾ Os valores de MS, C e N da cama de aviário referem-se à base úmida.

O NBPT deve apresentar pouco ou nenhum efeito quando misturado à cama já que, após a excreção dos animais, a uréia é rapidamente hidrolisada pela enzima urease (VAREL, 1997). Por isso, no presente trabalho, o Agrotain Plus será considerado apenas quanto à eficiência da molécula de DCD em inibir a nitrificação do N amoniacal dos dejetos. A dicianodiamida (DCD), também denominada de cianoguanidina, é uma amida orgânica cuja composição química é C₂N₄H₄. DCD constitui a forma dimérica da cianamida, possui solubilidade relativamente elevada em água (23 g L⁻¹ a 13 °C), contém pelo menos 65% de N, não é higroscópica e nem volátil, sendo biodegradada no solo até CO₂, NH₃ e H₂O (FRYE, 2005; MOIR et al., 2007; SINGH, 2008b). Conforme revisão realizada por Subbarao et al. (2006), a descoberta do efeito inibitório da nitrificação pela dicianodiamida ocorreu por volta de 1920.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições dos seguintes tratamentos: T1 - Solo (S) (testemunha); T2 - S + cama de aviário (CA); T3 - S + CA + 3,5 kg ha⁻¹ Agrotain Plus (AP); T4 - S + CA + 7,0 kg ha⁻¹ AP; T5 - S + CA + 14,0 kg ha⁻¹ AP.

A dose de cama de aviário aplicada foi de 4,7 Mg ha⁻¹ (base seca) e as quantidades de C e N total adicionadas ao solo (em mg kg⁻¹ de solo seco) com o Agrotain Plus foram de,

respectivamente, 1,57 e 3,38 (3,5 kg ha⁻¹ de AP), 3,14 e 6,76 (7,0 kg ha⁻¹ de AP) e de 6,28 e 13,52 (14,0 kg ha⁻¹ de AP). As concentrações de C e N do Agrotain Plus foram determinadas por combustão seca no mesmo equipamento usado para análise da cama de aviário.

A instalação do experimento ocorreu dia 12 de setembro de 2009. Os tratamentos foram aplicados ao solo em recipientes de acrílico, com 5,0 cm de altura e 5,1 cm de diâmetro, com capacidade de 102,1 mL. Para avaliação do N mineral do solo, os recipientes de acrílico foram acondicionados em potes de vidro com capacidade de 2 L, com quatro repetições por tratamento. Para evitar a deficiência de O₂, o que limitaria a decomposição aeróbica dos materiais orgânicos, os frascos foram abertos periodicamente durante 15 minutos para aeração.

A quantidade de solo colocada em cada recipiente de acrílico foi de 142,1 g com 13,86% de umidade, o que equivaleu a uma quantidade de 122,4 g de solo seco. Antes do início do experimento foram aplicados 6 mL de água destilada no solo de cada frasco, a fim de manter a umidade próxima de 80% da capacidade de campo. Posteriormente, não foi adicionado mais água, mas somente a cama de aviário úmida, nos respectivos tratamentos. O umedecimento da cama de aviário se deu para possibilitar a mistura do produto Agrotain Plus® com a mesma. No tratamento com incorporação da cama de aviário ao solo, sem o uso de Agrotain Plus, o umedecimento da cama de aviário foi realizado para manter a mesma umidade dos demais tratamentos.

O produto Agrotain Plus foi avaliado nas doses de 3,5 kg ha⁻¹ (2,84 kg de DCD ha⁻¹), 7,0 kg ha⁻¹ (5,67 kg de DCD ha⁻¹), e 14 kg ha⁻¹ (11,34 kg de DCD ha⁻¹), as quais foram misturadas à cama de aviário. Para adição do Agrotain Plus no solo, o produto, em quantidades de 58, 116 e 233 mg, foi inicialmente dissolvido em 50 mL de água destilada e esta foi misturada a 100 g de cama de aviário. Após a dissolução do Agrotain Plus e homogeneização com a cama de aviário, a mistura foi pesada e adicionada ao solo correspondente a cada tratamento (142,1 g de solo úmido, ou 122,4 g de solo seco). Essa adição correspondeu a 5,84, 11,68 e 23,37 mg de Agrotain Plus kg⁻¹ de solo seco e 4,73, 9,46 e 18,93 mg de DCD kg⁻¹ de solo seco. Em seguida, essa mistura foi uniformemente incorporada ao solo com auxílio de espátula. Após a incorporação, o solo foi adicionado nos recipientes de acrílico em duas etapas. Na primeira, foram adicionados 71,05 g de solo, compactando-o até a altura de 2,5 cm no frasco de acrílico. Na segunda, adicionou-se o restante do solo (71,05 g), compactando-o até a altura de 5 cm. Desta forma, o solo do frasco atingiu uma densidade de aproximadamente 1,2 g cm⁻³.

Todas as unidades experimentais foram mantidas em uma incubadora a 25 °C, na ausência de luminosidade por um período de 54 dias. A umidade do solo foi mantida durante a incubação através da pesagem das amostras e, quando necessário, foi adicionada água destilada na superfície de cada frasco.

A nitrificação foi avaliada através da determinação periódica dos teores de N mineral do solo (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$), iniciando-se duas (02) horas após a aplicação dos tratamentos (tempo 0) e repetindo-se a análise aos 3, 6, 12, 27, e 54 dias após o início da incubação. Em cada avaliação, o N mineral foi extraído de 20 g do solo com adição de 80 mL de KCl 1 mol L⁻¹ e agitação durante 30 minutos. Após a agitação, o material ficou em repouso por 30 minutos, sendo então retirada uma alíquota de 20 mL do sobrenadante, na qual se acrescentou 0,2 g de MgO para a determinação do N amoniacal ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) em destilador de arraste de vapores do tipo semi-micro Kjeldahl. Após análise do N amoniacal e o resfriamento dessa mesma amostra, adicionou-se 0,2 g de Liga de Devarda para nova destilação e determinação do N nítrico ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$). Embora essas duas formas de N mineral tenham sido determinadas conjuntamente, no presente trabalho os resultados serão apresentados e discutidos considerando-se que todo o N nítrico se encontrava no solo na forma de nitrato (NO_3^-), já que o nitrito (NO_2^-) é rapidamente oxidado (SINGH et al., 2008a) e, por isso, os teores são, normalmente, baixos.

As taxas de nitrificação foram obtidas ajustando-se equações lineares aos valores líquidos de nitrato no solo. Os valores líquidos de nitrato no solo foram obtidos descontando-se os valores de nitrato no solo dos tratamentos com cama de aviário do valor de nitrato encontrado no tratamento testemunha. Em cada tratamento a taxa de nitrificação é representada pelo coeficiente angular da reta.

O efeito dos tratamentos sobre as variáveis em estudo foi avaliado através da análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.3 Resultados e Discussão

Analisando conjuntamente os resultados relativos ao N nas formas amoniacal e nítrica no solo dos quatro tratamentos com adição de cama de aviário (Figura 1), observa-se que a redução nas quantidades de NH_4^+ (Figura 1a), especialmente na primeira semana de incubação, foi mais acentuada do que o aumento das quantidades de NO_3^- (Figura 1b). Tomando como exemplo o tratamento em que a cama foi incorporada ao solo sem AP observa-se que, enquanto a quantidade de N-NH_4^+ diminuiu em $20,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo nos primeiros 6 dias, o aumento de N-NO_3^- nesse mesmo período foi de apenas $9,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo. Isso evidencia que a nitrificação não foi o único processo responsável pelo desaparecimento do N amoniacal, tanto daquele adicionado ao solo com a cama de aviário como daquele produzido pela amonificação do N orgânico nessa fase inicial de decomposição da cama no solo.

Os outros destinos prováveis para o N amoniacal, também destacados por Azeez e Averbeke (2010) ao avaliarem a nitrificação após a adição de cama de aviário ao solo, podem ter sido a fixação do NH_4^+ por constituintes do solo, a volatilização de NH_3 e a sua imobilização temporária pela população microbiana.

A contribuição da volatilização de amônia nessa rápida diminuição inicial do NH_4^+ do solo deve ter sido pequena, em razão das condições de incubação, pouco favoráveis à ocorrência desse processo físico-químico de perda de N. Na incubação, a cama foi incorporada ao solo, o que protege o N amoniacal da volatilização (SOMMER et al., 2003). Além disso, os frascos fechados impediram a ação dos ventos, um dos fatores que pode favorecer a emissão de NH_3 para a atmosfera (SOMMER et al., 2003). Portanto, a imobilização microbiana deve ter sido a causa principal da rápida redução ocorrida nos teores de NH_4^+ dos tratamentos com cama de aviário no período inicial de incubação.

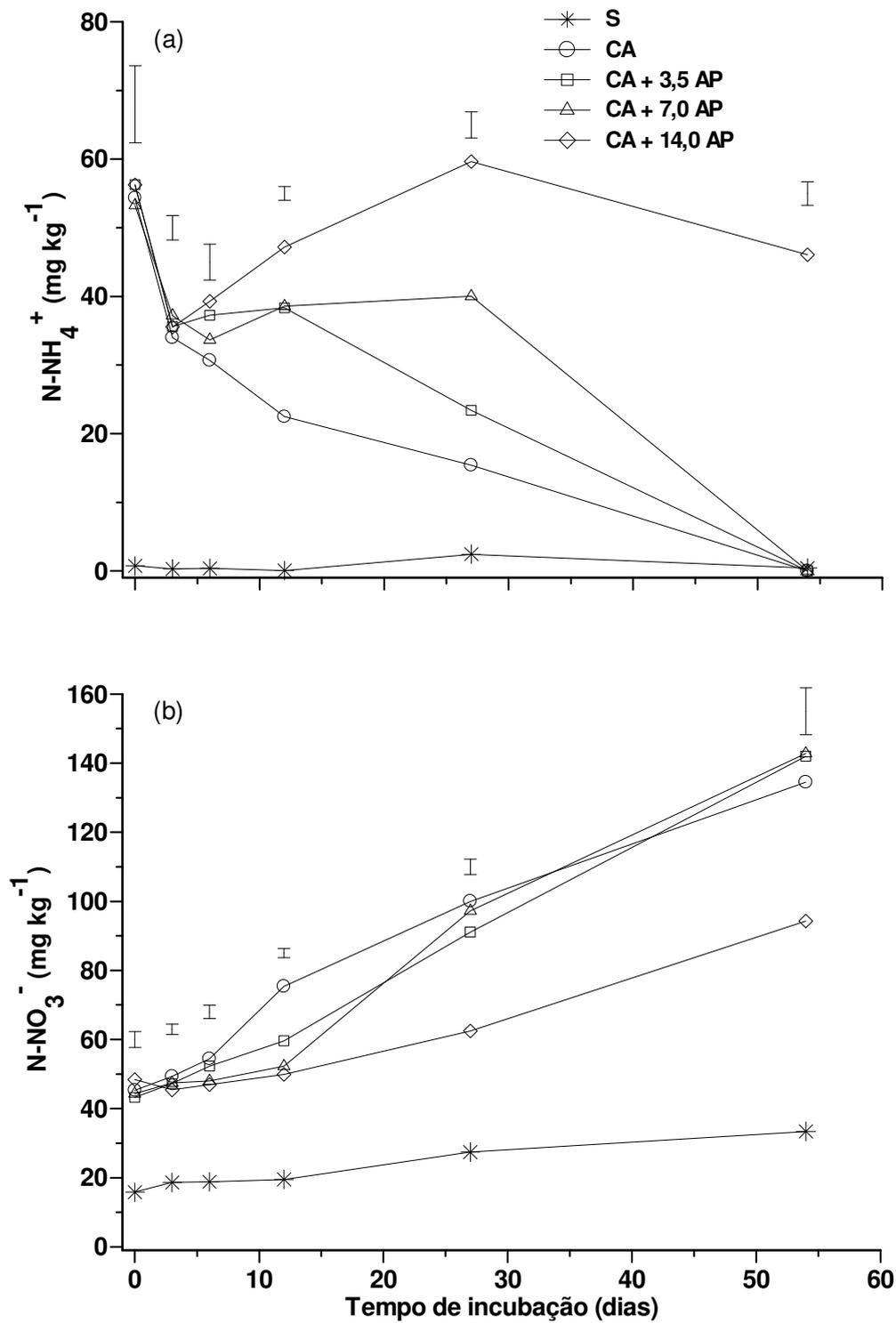


Figura 1 - Quantidades de (a) N-NH₄⁺ e (b) N-NO₃⁻ nos tratamentos com adição de cama de aviário (CA) sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha⁻¹ e no solo do tratamento testemunha (S). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (Tukey a 5%) entre os tratamentos.

Apesar da cama de aviário apresentar, normalmente, baixa relação C/N (Tabela 1), a imobilização de N tem sido observada em outros trabalhos como, por exemplo, na incubação conduzida durante 120 dias por Azeez e Averbek (2010) a uma temperatura de 23°C e com uma cama de aviário com relação C/N de 9,6/1. Essa imobilização de N pode ser atribuída ao fornecimento de carbono e energia à população microbiana heterotrófica através da cama de aviário, o que estimula sua atividade e, por consequência, a demanda em N para o metabolismo celular. Quando a assimilação microbiana do N disponível do solo é maior do que a liberação desse nutriente através do processo de mineralização ocorre a imobilização líquida de N, detectada através da diminuição dos teores de N mineral do solo (ABBASI et al., 2007). A ocorrência desse processo de imobilização líquida de N durante a decomposição da cama de aviário no solo, bem como a sua magnitude, deve estar relacionada, principalmente ao tipo de material orgânico empregado na cama, sobre a qual são criadas as aves.

Os resultados da figura 1a mostram que a quantidade de N-NH_4^+ do tratamento com cama de aviário sem AP, que era de 45 mg de N-NH_4^+ kg^{-1} de solo no início do experimento, atingiu valor próximo a zero mg de N-NH_4^+ kg^{-1} de solo aos 54 dias. Todavia, nesse mesmo período, o acúmulo líquido de NO_3^- (descontando o acúmulo de NO_3^- do tratamento testemunha) proveniente da cama foi próximo a 90 mg kg^{-1} de solo (Figura 1b). Isso também ocorreu no trabalho de Sistani et al. (2008), onde aos 49 dias após a adição de cama de aviário, houve um aumento líquido de N-NO_3^- no solo de aproximadamente 75 mg kg^{-1} enquanto a diminuição líquida de N-NH_4^+ foi de apenas 18 mg kg^{-1} . Tais resultados, que corroboram aqueles de Azeez e Averbek (2010), evidenciam que no caso da cama de aviário há uma rápida e significativa conversão microbiana de N orgânico da cama para NH_4^+ , através do processo denominado de amonificação ou mineralização, e que o N amoniacal produzido nesse processo é rapidamente nitrificado no solo. Por isso, em cama de aviário, os inibidores deverão atuar tanto na inibição da nitrificação do N amoniacal já presente na cama, no momento da sua aplicação ao solo, como no N proveniente da amonificação do N orgânico pelos microrganismos do solo.

O efeito do inibidor de nitrificação é percebido na figura 1, comparando-se os teores de N-NH_4^+ dos quatro tratamentos com aplicação de cama de aviário. Observa-se que, após o terceiro dia de incubação, a variação temporal do N-NH_4^+ no solo destes tratamentos ocorreu de modo distinto. Enquanto no tratamento com aplicação de 14 kg ha^{-1} de Agrotain Plus (AP) o teor de N-NH_4^+ aumentou de 35 mg kg^{-1} aos 3 dias para 58 mg kg^{-1} aos 27 dias, nos tratamentos com 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} AP ele se manteve relativamente constante e próximo a 35

mg kg⁻¹ de 3 dias até 12 e 27 dias, respectivamente. Já no tratamento com uso exclusivo de cama de aviário o NH₄⁺ do solo diminuiu constantemente até os 54 dias. Tomando como exemplo a amostragem realizada aos 27 dias, se observa que os teores de N-NH₄⁺ no solo do tratamento com cama de aviário sem AP e nos tratamentos com cama de aviário mais AP, nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha⁻¹ (Figura 1a), correspondem a 13, 20, 29 e 49% do N mineral (NH₄⁺ + NO₃⁻) presente no solo, respectivamente (Figura 2). Essa maior proporção de NH₄⁺ no solo com o aumento da dose de AP revela o efeito da dicianodiamida (DCD) sobre a inibição da nitrificação do N amoniacal presente inicialmente na cama de aviário e também do NH₄⁺ produzido pela mineralização dos compostos orgânicos durante a decomposição da cama pelos microrganismos heterotróficos.

A avaliação conjunta da variação temporal dos teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo de cada tratamento (Figura 1) fornece uma informação mais precisa do efeito inibitório do AP sobre a nitrificação do N da cama de aviário. Observa-se que, do terceiro ao vigésimo sétimo dia, os menores teores de NH₄⁺ entre os quatro tratamentos com cama de aviário foram encontrados no solo do tratamento em que a cama foi incorporada ao solo sem AP (Figura 1a).

A comparação dos teores de N-NO₃⁻ entre esses mesmos quatro tratamentos e no mesmo período indica que as diferenças entre o tratamento com cama sem AP e os tratamentos com cama + 3,5 e 7,0 kg ha⁻¹ AP foram pequenas e, quando significativas, elas indicaram maiores valores de N-NO₃⁻ no tratamento sem AP (Figura 1b). O tratamento que apresentou os menores teores de N-NO₃⁻ no solo em praticamente todo o período de incubação foi aquele em que a cama foi incorporada ao solo com a maior dose de AP (14 kg ha⁻¹). Mesmo aos 54 dias após a adição da cama ao solo o teor de N-NO₃⁻ desse tratamento foi inferior à média dos outros três tratamentos com cama em 45 mg kg⁻¹. Esse conjunto de resultados indica que a dicianodiamida (DCD), contida no produto Agrotain Plus, inibiu a nitrificação do N amoniacal da cama de aviário, aumentando o tempo de permanência dessa forma de N mineral no solo. Todavia, esse efeito foi detectado de modo mais significativo e prolongado apenas na dose de 14 kg ha⁻¹ de AP (11,34 kg ha⁻¹ de DCD).

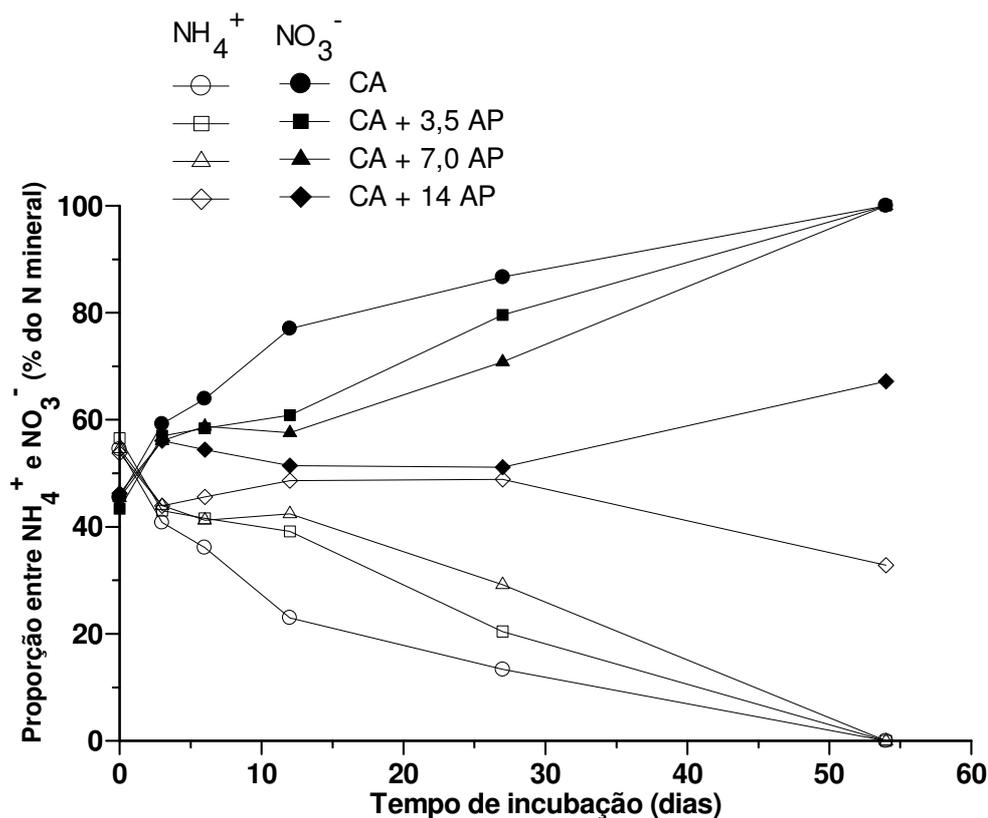


Figura 2 - Proporção de N-NH₄⁺ (□△◇○) e de N-NO₃⁻ (▲●■◆) no solo dos tratamentos com adição de cama de aviário (CA) sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha⁻¹.

Não foram encontrados resultados publicados envolvendo o uso de DCD para inibir a nitrificação em cama de aviário, para compará-los aos resultados do presente trabalho. O único trabalho encontrado, em que esse inibidor foi aplicado a dejetos sólidos, é aquele realizado por Asing et al. (2008) na Nova Zelândia em que a dose de 13 kg de DCD ha⁻¹ foi aplicada num fertilizante orgânico peletizado produzido a partir de esterco de ovelha e denominado de “Garden galore”. A aplicação de DCD manteve maiores concentrações de N mineral na forma de NH₄⁺ no solo, além de reduzir a emissão de N₂O e a lixiviação de NO₃⁻. Outros inibidores de nitrificação foram aplicados em esterco de aves como, por exemplo, na incubação de Sallade e Sims (1994) em que o tiosulfato (Na₂S₂O) inibiu a nitrificação em 89% até a quarta semana e em 20% na décima segunda semana. No trabalho de Reddy et al. (2008) a aplicação do inibidor de nitrificação carboximetil pirazol juntamente com cama de aviário reduziu a formação de nitrato durante os primeiros 41 dias.

A partir dos resultados relativos ao acúmulo de NO_3^- (Figura 1b) foi possível calcular o acúmulo de NO_3^- no solo, proveniente do N da cama de aviário. Para isso, o teor de NO_3^- encontrado no solo do tratamento testemunha (S) foi descontado dos quatro tratamentos com cama de aviário. É importante destacar que esse cálculo permite inferir apenas sobre a nitrificação líquida ocorrida e não sobre a nitrificação total ou bruta. Isso porque, da quantidade total de NO_3^- produzida pela oxidação microbiana do NH_4^+ , uma parte poderá ser removida do solo através dos processos microbianos de imobilização pela população microbiana heterotrófica e de desnitrificação. É pouco provável que a desnitrificação tenha removido NO_3^- do sistema, uma vez que a condição aeróbica empregada na incubação é inibitória à ação das bactérias anaeróbicas facultativas responsáveis por esse processo.

A cinética de acúmulo de NO_3^- no solo (Figura 3), que representa a nitrificação líquida do N da cama de aviário, difere daquela verificada por Stüker (2010) para dejetos líquidos de suínos. Enquanto no tratamento com uso exclusivo de cama de aviário (CA), o acúmulo de NO_3^- aconteceu durante todo o período de incubação, no trabalho de Stüker (2010), praticamente todo o N- NH_4^+ adicionado ao solo com os dejetos de suínos (90,7 mg de kg^{-1}) foi oxidado para N- NO_3^- nos primeiros 20 dias. Essa diferença entre os trabalhos deve estar relacionada ao tipo de material orgânico utilizado, principalmente à proporção entre as diferentes formas de N dos mesmos. Enquanto nos dejetos de suínos utilizados por Stüker (2010) 52% do N total já se apresentava na forma amoniacal quando os mesmos foram adicionados ao solo, no presente trabalho essa proporção na cama de aviário era de apenas 21,7%.

Comparando o efeito inibitório da nitrificação entre as três doses de AP, aplicadas ao solo juntamente com a cama de aviário, observa-se, através dos resultados da figura 3, que o acúmulo líquido de NO_3^- no solo do tratamento com a dose de 14 kg ha^{-1} AP só iniciou após 12 dias de incubação. Já nas doses de 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} de AP, constatou-se acúmulo de NO_3^- no solo desde o início do experimento, sendo que aos 27 dias o valor acumulado de N- NO_3^- atingiu um valor médio de 50 mg kg^{-1} , aproximando-se do tratamento com uso de cama de aviário sem AP e superando o tratamento com 14 kg de AP ha^{-1} em 35 mg kg^{-1} . Tais resultados evidenciam que o Agrotain Plus aplicado na dose de 14 kg ha^{-1} inibiu totalmente a nitrificação do N amoniacal da cama de aviário nos primeiros 12 dias e parcialmente após esse período. Nas doses de 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} o AP perdeu a capacidade em inibir a nitrificação do N amoniacal da cama, no período entre 12 e 27 dias após a sua aplicação. O fato da DCD, que é o inibidor da nitrificação, ser biodegradável no solo pode explicar esses resultados.

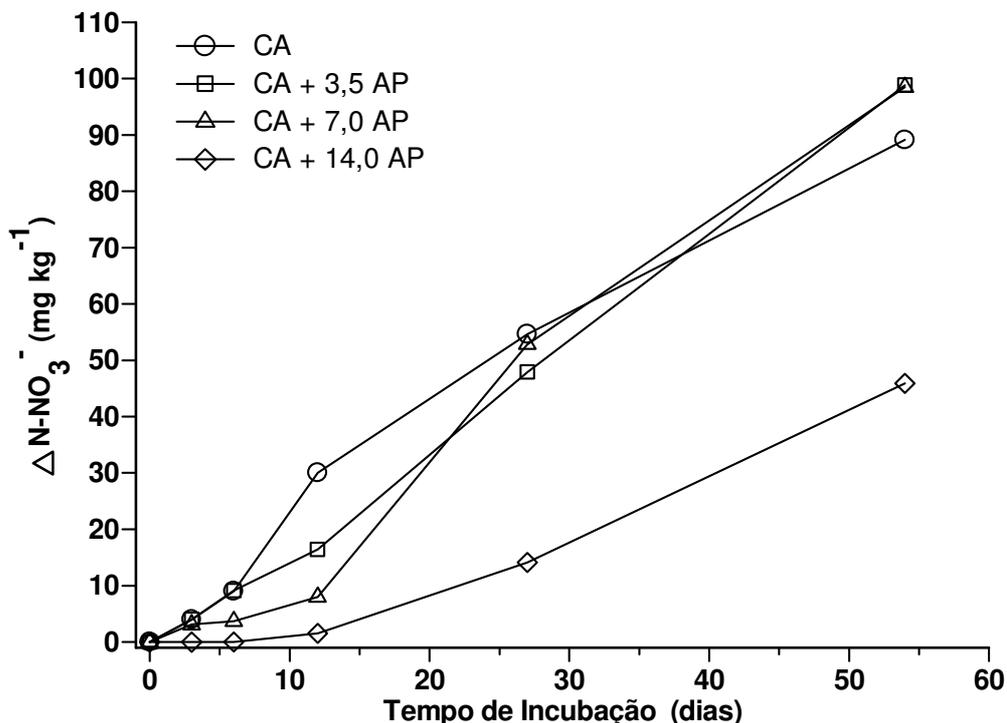


Figura 3 - Produção líquida de N-NO_3^- no solo dos tratamentos com adição de cama de aviário (CA) sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha^{-1} .

Para melhor expressar o efeito do inibidor de nitrificação sobre o acúmulo de NO_3^- no solo foram ajustadas equações lineares aos valores da figura 3. Observa-se na tabela 2 que, nos primeiros 12 dias, a taxa de acúmulo de NO_3^- diminuiu de 2,55 mg kg^{-1} de solo dia^{-1} no tratamento em que a cama foi incorporada ao solo sem AP para 1,38 e 0,63 mg kg^{-1} de solo dia^{-1} nos tratamentos com 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} AP, respectivamente. Após 12 dias ocorreu uma inversão nessa tendência, com a maior taxa de acúmulo de NO_3^- (2,09 mg kg^{-1} de solo dia^{-1}) observada no tratamento com 7,0 kg ha^{-1} AP e a menor taxa (1,39 mg kg^{-1} de solo dia^{-1}) no tratamento com cama sem AP. Tais resultados mostram que o Agrotain Plus, misturado à cama de aviário nas doses de 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} , teve efeito inibitório sobre a nitrificação do N amoniacal da cama, mas esse efeito foi efêmero, já que a partir dos 12 dias a taxa de nitrificação superou aquela do tratamento com cama sem AP em 45%. No trabalho de Stüker (2010), também conduzido em laboratório a 25°C e com as mesmas doses de AP utilizadas no presente trabalho, porém com dejetos líquidos de suínos, essas duas doses apresentaram um efeito inibitório mais prolongado. Mesmo após 29 dias, as doses de 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} de AP,

incorporadas ao solo com os dejetos de suínos, proporcionaram redução nos teores de N-NO_3^- , em relação ao tratamento com dejetos sem AP, em 30 e 47 mg de N kg^{-1} de solo, respectivamente. Essas diferenças na intensidade e na duração do efeito inibitório da nitrificação pela dicianodiamida (DCD) devem estar ligadas às diferenças entre a composição dos dejetos de suínos e da cama de aviário. Enquanto no trabalho de Stüker (2010) os dejetos de suínos utilizados apresentavam apenas 5,01% de matéria seca e 48,6% do N total na forma orgânica, no presente trabalho a matéria seca da cama de aviário era de 77,6% e a maior proporção do N total (67%) era orgânico (Tabela 1). É provável que a própria população microbiana heterotrófica decompositora da fração orgânica da cama possa ter atuado na decomposição do inibidor de nitrificação, reduzindo a sua eficiência em manter o N mineral da cama na forma de NH_4^+ , quando o AP foi usado nas doses de 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} (2,83 e 5,67 kg de DCD ha^{-1}).

A inibição da nitrificação do N amoniacal da cama somente foi observada durante todo o período experimental quando o AP foi adicionado ao solo na dose de 14 kg ha^{-1} . Durante os primeiros 12 dias a nitrificação nesse tratamento foi totalmente inibida (Figura 3). Mesmo quando iniciou a nitrificação nesse tratamento, aos 12 dias, o acúmulo de NO_3^- , no período de 12 a 54 dias, ocorreu a uma taxa de 1,07 mg kg^{-1} de solo dia^{-1} , que foi aproximadamente duas vezes menor do que a média dos tratamentos com 3,5 e 7,0 kg ha^{-1} AP (2,02 mg kg^{-1} de solo dia^{-1}) e 23% inferior ao tratamento com cama sem AP (1,39 mg kg^{-1} de solo dia^{-1}) (Tabela 2).

Os resultados desse trabalho evidenciam que para um efeito prolongado da inibição da nitrificação do N amoniacal de cama de aviário, o produto Agrotain Plus, contendo 81% do inibidor DCD, deverá ser aplicado ao solo, juntamente com a cama, em doses superiores a 7 kg ha^{-1} . Ao realizar uma revisão crítica sobre desafios e oportunidades envolvendo estratégias para controlar a nitrificação em sistemas agrícolas, Subbarao et al. (2006) destacam que a DCD é solúvel em água e biodegradável no solo. Nessa mesma revisão, os autores enfatizam que a quantidade normalmente necessária de DCD para inibir a nitrificação varia de 10 a 50 mg kg^{-1} de solo e que esse efeito inibitório dura de 4 a 8 semanas, dependendo da temperatura, do pH do solo e do conteúdo de água e matéria orgânica do solo. Na presente incubação, onde não houve saída de DCD do sistema, pelo fato do mesmo estar isolado da ação das chuvas, a inibição da nitrificação somente foi efetiva na dose de 14 kg ha^{-1} de Agrotain Plus, o que corresponde a uma dose de 11,3 kg de DCD ha^{-1} (18,98 mg de DCD kg^{-1} de solo).

Tabela 2. Equações lineares ajustadas aos valores observados para a produção líquida de N-NO_3^- no solo dos tratamentos com adição de cama de aviário sem e com Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha^{-1} , aos 54 dias após o início da incubação.

Tratamento	Intervalo de tempo (dias)	Equação de regressão linear
Cama de aviário	0 a 12	$y = 2,546x - 2,612 \text{ R}^2 = 0,9522$
	12 a 54	$y = 1,391x + 14,79 \text{ R}^2 = 0,9955$
Cama de aviário + 3,5 kg AP	0 a 12	$y = 1,379x + 0,142 \text{ R}^2 = 0,9954$
	12 a 54	$y = 1,954x - 6,185 \text{ R}^2 = 0,9992$
Cama de aviário + 7,0 kg AP	0 a 12	$y = 0,631x + 0,380 \text{ R}^2 = 0,9675$
	12 a 54	$y = 2,099x - 11,978 \text{ R}^2 = 0,9751$
Cama de aviário + 14,0 kg AP	12 a 54	$y = 1,071x - 12,676 \text{ R}^2 = 0,9932$

Embora a dicianodiamida tenha retardado a nitrificação do N amoniacal da cama de aviário sob condições controladas de laboratório é importante confirmar esses resultados em experimentos de campo, sob condições variáveis de clima e de solo. Com base nos resultados obtidos no presente trabalho sugere-se que nos experimentos de campo as doses de Agrotain Plus a serem testadas sejam superiores a 7,0 kg ha^{-1} . Nesses trabalhos, é importante avaliar, além da inibição da nitrificação, o efeito do produto sobre outros processos do ciclo do N, com destaque para as perdas de N por volatilização de NH_3 , lixiviação de NO_3^- e desnitrificação.

2.4 Conclusões

A dicianodiamida (DCD), contida no produto Agrotain Plus, foi eficiente em inibir a nitrificação do N amoniacal da cama de frangos de corte.

As doses de 3,5 e 7,0 kg de Agrotain Plus ha⁻¹ inibiram a nitrificação apenas nos primeiros 12 dias, sendo que na dose de 14 kg de Agrotain Plus ha⁻¹ (11,34 kg de DCD ha⁻¹) esse efeito inibitório ocorreu até o final do experimento, aos 54 dias.

3 CAPÍTULO 2

Volatilização de amônia e mineralização do carbono e do nitrogênio de cama de aviário, adicionada ao solo com e sem inibidor de nitrificação

RESUMO

Inibidores de nitrificação têm sido aplicados ao solo, juntamente com dejetos de animais, para reduzir a contaminação ambiental relativa à lixiviação de nitrato e à emissão de óxido nitroso (N_2O). Todavia, pouco se conhece sobre como esses produtos podem afetar as perdas de nitrogênio (N) por volatilização de amônia (NH_3) e a mineralização do carbono (C) e do nitrogênio dos próprios dejetos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do produto Agrotain Plus (AP), que contém 81% do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD), sobre a volatilização de NH_3 e a mineralização do C e do N da cama de aviário (CA). O experimento foi conduzido em laboratório durante 69 dias e constou da incubação de um solo coletado na cama 0-10 cm de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Os tratamentos constaram da incorporação ao solo de CA ($4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, base seca), sem AP e juntamente com as doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha^{-1} de AP. Além destes havia um tratamento sem CA e sem AP (testemunha) e um tratamento em que a CA foi adicionada na superfície do solo, juntamente com a dose de $7 \text{ kg de AP ha}^{-1}$. A volatilização de NH_3 ocorreu apenas quando a CA permaneceu na superfície do solo e foi favorecida pela adição de AP. A adição do AP aumentou a mineralização do C e do N da CA em 4 e 28%, respectivamente.

Palavras-chaves: dicianodiamida, Agrotain Plus, dinâmica do N, adubo orgânico

**Ammonia volatilization and mineralization of carbon and nitrogen from poultry litter,
added to the soil with and without nitrification inhibitor**

ABSTRACT

Nitrification inhibitors have been applied to the soil, together with animal wastes, to reduce environmental pollution by nitrate leaching and nitrous oxide (N₂O) emission. However, little is known about how these products can affect both, nitrogen (N) losses by ammonia (NH₃) volatilization and carbon (C) and N mineralization of wastes itself. The objective of this study was to evaluate the effect of the product Agrotain Plus (AP), which contains 81% of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD), on NH₃ volatilization and poultry litter (PL) C and N mineralization. The experiment was conducted in the laboratory for 69 days and consisted of an incubation of samples from 0-10 cm of a Hapludalf soil. Treatments consisted of PL (4.7 Mg ha⁻¹, dry basis) incorporated in the soil, without and with AP doses (3.5, 7.0 and 14 kg ha⁻¹). The same dose of PL was added to the soil surface, without and with AP (7 kg ha⁻¹). One treatment had no addition of AP or PL (control). NH₃ volatilization occurred only when the PL remained on the soil surface and was favored by the addition of AP. The addition of AP increased mineralization of C and N PL on 4 and 28%, respectively.

Keywords: Dicyandiamide, “Agrotain Plus”, N dynamic, organic manure

3.1 Introdução

O uso de dejetos de animais como fertilizante tem sido a prática mais comum para o descarte e também para a promoção da ciclagem de nutrientes contidos nos mesmos, especialmente do nitrogênio e do fósforo. Com relação ao nitrogênio, a maioria dos trabalhos realizados com dejetos de suínos (AITA et al., 2007), bovinos (MERINO et al., 2002) e aves (SISTANI et al., 2008) indica que a oxidação do N amoniacal dos mesmos até nitrato (NO_3^-) pelas bactérias nitrificadoras ocorre rapidamente no solo. Com isso, podem ocorrer perdas significativas de NO_3^- por lixiviação e desnitrificação, com conseqüências negativas do ponto de vista agrícola e ambiental. Para a agricultura, essas perdas reduzem a disponibilidade de N às culturas. Quanto ao impacto ambiental, pode ocorrer a contaminação dos mananciais de superfície e também do lençol freático com NO_3^- , além da emissão de óxido nitroso (N_2O) para atmosfera, que é dos principais gases de efeito estufa (HATCH et al., 2005).

Uma das estratégias para reduzir as perdas de N decorrentes da presença de NO_3^- no solo consiste no uso de inibidores de nitrificação, os quais têm efeito bacteriostático, bloqueando temporariamente a ação de *Nitrosomonas* na primeira etapa da nitrificação, que consiste na conversão de NH_3 para nitrito (NO_2^-). Nos últimos anos, nota-se um aumento no número de trabalhos de pesquisa com tais produtos, com destaque para a dicianodiamida (DCD) e a nitrapirina, os quais têm sido misturados tanto a fertilizantes minerais quanto orgânicos (HATCH et al., 2005, MKHABELA et al., 2006; CARNEIRO et al., 2010). Embora os resultados sejam variáveis, de maneira geral, os inibidores têm retardado a nitrificação, reduzindo as perdas de N por lixiviação de NO_3^- (VALLEJO et al., 2005; MOIR et al., 2007) e a emissão de N_2O (DAMASCENO, 2010). Todavia, pelo fato dos inibidores aumentarem o tempo de permanência no solo do N na forma amoniacal, pode ocorrer também aumento na perda desse nutriente via volatilização de amônia (NH_3) (HATCH, et al.; 2005).

Ainda são raros no Brasil os trabalhos envolvendo o uso de inibidores de nitrificação, quando da aplicação de dejetos de animais no solo. As únicas referências encontradas referem-se à aplicação de DCD em dejetos líquidos de suínos, sob condições controladas de laboratório (STÜKER, 2010) e no campo, em plantio direto de milho (DAMASCENO, 2010). No trabalho de Stüker (2010) os resultados indicaram um possível efeito da DCD no aumento da mineralização do C dos dejetos. Já no experimento de Damasceno (2010) o uso de DCD reduziu a emissão de N_2O , porém aumentou a emissão de NH_3 de 8,1 para 14,3 kg de N ha^{-1}

(76%) aos 21 dias após a distribuição dos dejetos na superfície do solo, sobre resíduos culturais de aveia.

O uso de inibidores de nitrificação em dejetos sólidos como, por exemplo, em cama de aviário, é restrito a um número muito limitado de situações (SALLADE; SIMS, 1992), sendo necessário intensificar os trabalhos nessa área. Mesmo sem o uso de inibidores de nitrificação é importante avaliar a mineralização do carbono e do nitrogênio da cama de aviário no solo para melhor compreender os efeitos desse material orgânico sobre o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS). Além disso, é necessário conhecer a dinâmica de mineralização do nitrogênio da cama para estabelecer o potencial da mesma em fornecer N em sincronia com a demanda das culturas.

O elevado volume de cama de aviário gerado na região Sul do Brasil, o alto teor de N desse material orgânico e a carência de informações relativas ao efeito de inibidores de nitrificação sobre a dinâmica do carbono e do nitrogênio durante a decomposição da cama no solo motivaram a realização do presente trabalho. O objetivo foi o de avaliar o efeito do produto Agrotain Plus, que contém o inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD) na sua composição, sobre a volatilização de NH_3 e a mineralização do carbono e do nitrogênio da cama de aviário, sob condições de laboratório.

3.2 Material e métodos

Tanto o solo como a cama de aviário foram os mesmos utilizados no experimento do capítulo 1. As condições de incubação e a montagem dos tratamentos também seguiram os mesmos procedimentos descritos no capítulo 1.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 4 repetições. Os tratamentos avaliados foram os seguintes: T1 - Solo (testemunha); T2 - Solo + cama de aviário em superfície; T3 - Solo + cama de aviário em superfície + Agrotain Plus (7 kg ha⁻¹); T4, T5, T6 e T7 - Solo + cama de aviário incorporada + Agrotain Plus, nas doses de 0, 3,5, 7,0 e 14,0 kg ha⁻¹, respectivamente.

A avaliação da volatilização de amônia (NH₃) foi feita em frascos com capacidade para 900 mL, contendo no seu interior os recipientes de acrílico com 5,0 cm de altura, os quais continham os tratamentos avaliados. Para captar a amônia volatilizada do solo foi posicionada, ao lado dos recipientes de acrílico e a uma altura de 3,0 cm acima da superfície do solo, uma haste de metal, na extremidade da qual foi fixada uma esponja esférica, com 2,0 cm de espessura e com o mesmo diâmetro do recipiente de acrílico (5,1 cm). Em cada avaliação a esponja era embebida em uma solução de ácido fosfórico (5%) e glicerina (4%), em um volume suficiente para propiciar a absorção do gás NH₃ e evitar o gotejamento dessa solução sobre o solo. As avaliações foram feitas após 1, 2, 3, 6, 12, 27, 54 e 69 dias do início da incubação.

Para a extração da amônia das esponjas em cada avaliação foram feitas cinco lavagens consecutivas das mesmas com solução de KCl 1M. O volume final de solução após as cinco lavagens de KCl foi de 100 mL. Uma alíquota de 20 mL dessa solução foi destilada em destilador de arraste de vapores semi-micro Kjeldahl, após adição de óxido de magnésio.

A mineralização do N orgânico da cama foi avaliada através da determinação periódica dos teores de N mineral do solo (N-NH₄⁺ e N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻), iniciando-se duas (02) horas após a aplicação dos tratamentos (tempo 0) e repetindo-se a análise aos 3, 6, 12, 27, 54 e 69 dias após o início da incubação. Em cada avaliação o N mineral foi extraído de 20 g do solo com uma solução de 80 mL de KCl 1 mol L⁻¹. Em uma alíquota de 20 mL do sobrenadante, foi realizada a determinação do N mineral em destilador de arraste de vapores do tipo semimicro Kjeldahl conforme Tedesco et al. (1995).

O CO₂ liberado nos tratamentos foi captado em 10 mL de uma solução de NaOH 1 mol L⁻¹ colocada em um frasco de vidro com capacidade para 37 mL, suspenso na parte

superior de cada frasco contendo o solo de cada tratamento. Além dos 7 tratamentos avaliados também foram incubados três frascos contendo apenas a solução de NaOH (prova em branco), para capturar o CO₂ presente na atmosfera interna dos frascos de todos os tratamentos. O excesso de NaOH em cada intervalo de coleta foi titulado com uma solução de HCl 1 mol L⁻¹, após precipitação do carbonato com uma solução de BaCl₂ 1 mol L⁻¹ (STOTZKY, 1965). A medida da evolução do CO₂ foi realizada 1, 3, 6, 12, 27, 54, 69, e 97 dias após o início da incubação.

O cálculo da mineralização aparente do C da cama de aviário foi realizado com base na seguinte equação:

$$C_{map} = \left(\frac{CO_2ds - CO_2s}{Cad} \right) \times 100 \quad (1)$$

sendo, ***C_{map}*** a mineralização aparente do C da cama (% do C adicionado); ***CO₂ds*** a quantidade de C-CO₂ emitida (mg kg⁻¹ de solo) nos tratamentos com cama, com e sem Agrotain Plus; ***CO₂s*** a quantidade de C-CO₂ emitida (mg kg⁻¹ de solo) no tratamento testemunha; e ***Cad*** o C adicionado (mg kg⁻¹ de solo) com a cama.

A estimativa da mineralização do N orgânico aplicado ao solo com a cama foi determinada pela fórmula seguinte:

$$N_{min} = (Nro2 - Nro1) - (Ns2 - Ns1) \quad (2)$$

Sendo, ***N_{min}*** a quantidade (mg de N kg⁻¹ solo) de N mineralizado; ***Nro1*** e ***Nro2*** as quantidades de N mineral do solo nos tratamentos com cama, com e sem Agrotain Plus no início e ao final de cada intervalo de avaliação, respectivamente; e ***Ns1*** e ***Ns2*** as quantidades de N mineral do solo no tratamento testemunha no início e ao final de cada intervalo de avaliação, respectivamente.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Volatilização de amônia (NH₃)

A volatilização de NH₃ ocorreu apenas nos dois tratamentos em que a cama permaneceu na superfície do solo, sem incorporação, sendo máxima na primeira avaliação realizada e diminuindo rapidamente até os primeiros três dias após o início da incubação (Figura 1a). Na média dos três tratamentos com cama incorporada a quantidade de N perdido por volatilização de NH₃ foi de 2,33 mg kg⁻¹ de solo, o que é 12,7% inferior à quantidade de N volatilizado como NH₃ no tratamento testemunha, sem adição de cama (Figura 1b). O fato da incorporação da cama ao solo praticamente eliminar as perdas de N por volatilização de NH₃ confirma resultados de outros trabalhos (DAMASCENO, 2010) e se deve ao fato dessa prática proteger o N amoniacal dos fatores responsáveis pela emissão dessa forma de N para a atmosfera. Com a incorporação aumenta o contato do N amoniacal com o solo. Sob condições de campo, além desse efeito, a incorporação protege também o N amoniacal da ação dos ventos, um importante agente facilitador da transferência de NH₃ para a atmosfera (SOMMER et al., 2003).

Comparando os dois tratamentos com adição da cama na superfície do solo, observa-se que a cinética de emissão de NH₃ entre ambos foi similar até os 27 dias, com taxas mais elevadas durante os primeiros 12 dias. Ao final dos 12 dias, a quantidade de N-NH₃ volatilizada no tratamento com adição de cama e sem Agrotain Plus representa 91% da quantidade total de NH₃ que volatilizou até o final da incubação, aos 69 dias (Figura 1b). Já no tratamento em que a cama foi adicionada na superfície do solo juntamente com Agrotain Plus a perda de N-NH₃ aos 12 dias corresponde a apenas 54% do N perdido como NH₃ em 69 dias. Ao final do experimento, a adição de Agrotain Plus à cama aumentou a volatilização de NH₃ em 38% (Figura 1b).

Na figura 2 se observa que as perdas de N por volatilização de NH₃, nos tratamentos em que a cama permaneceu na superfície do solo, representam aproximadamente 6 e 9% do N total aplicado com a cama, nos tratamentos sem e com o uso de Agrotain Plus, respectivamente. Quando relacionados às quantidades de N amoniacal presentes inicialmente na cama, esses valores representam perdas de 28 e 45% do N amoniacal aplicado, respectivamente. Tais resultados evidenciam que a volatilização de NH₃ pode representar uma

importante redução do potencial fertilizante nitrogenado da cama de aviário, quando a mesma permanece na superfície do solo, como ocorre no sistema de plantio direto.

Esse efeito dos inibidores de nitrificação em aumentar a volatilização de NH_3 tem sido observado em algumas situações envolvendo a aplicação de dejetos de animais ao solo. No trabalho de Zaman et al. (2009), por exemplo, a aplicação do inibidor dicianodiamida (DCD) juntamente com urina de vacas em lactação na primavera, verão e outono, aumentou a volatilização de NH_3 em 27% na média dos três períodos. Por outro lado, Mkhabela et al. (2006) constataram que a DCD não aumentou a volatilização de NH_3 quando os dejetos de suínos foram aplicados numa incubação conduzida durante 21 dias a 21°C. Nas situações em que a volatilização de NH_3 aumentou com o uso de inibidores, isso tem sido justificado pelo fato dos mesmos terem retardado a nitrificação, o que preservou maior quantidade de N amoniacal no solo, aumentando o potencial de volatilização. Esse efeito deve ser mais pronunciado em dejetos sólidos como a cama de aviário utilizada no presente trabalho, já que nos dejetos manejados na forma líquida essa fração líquida poderá infiltrar no solo protegendo o N amoniacal da volatilização. Portanto, a magnitude desse efeito do inibidor de nitrificação sobre a volatilização de NH_3 parece estar ligada, principalmente, ao tipo e às características dos dejetos e do solo, com destaque para a umidade no momento da adição dos dejetos e ao pH de ambos, solo e dejetos. Quanto menor for o pH, menor deverá ser o efeito do inibidor no aumento da volatilização de NH_3 . Essa é uma área que necessita de estudos mais aprofundados por parte da pesquisa.

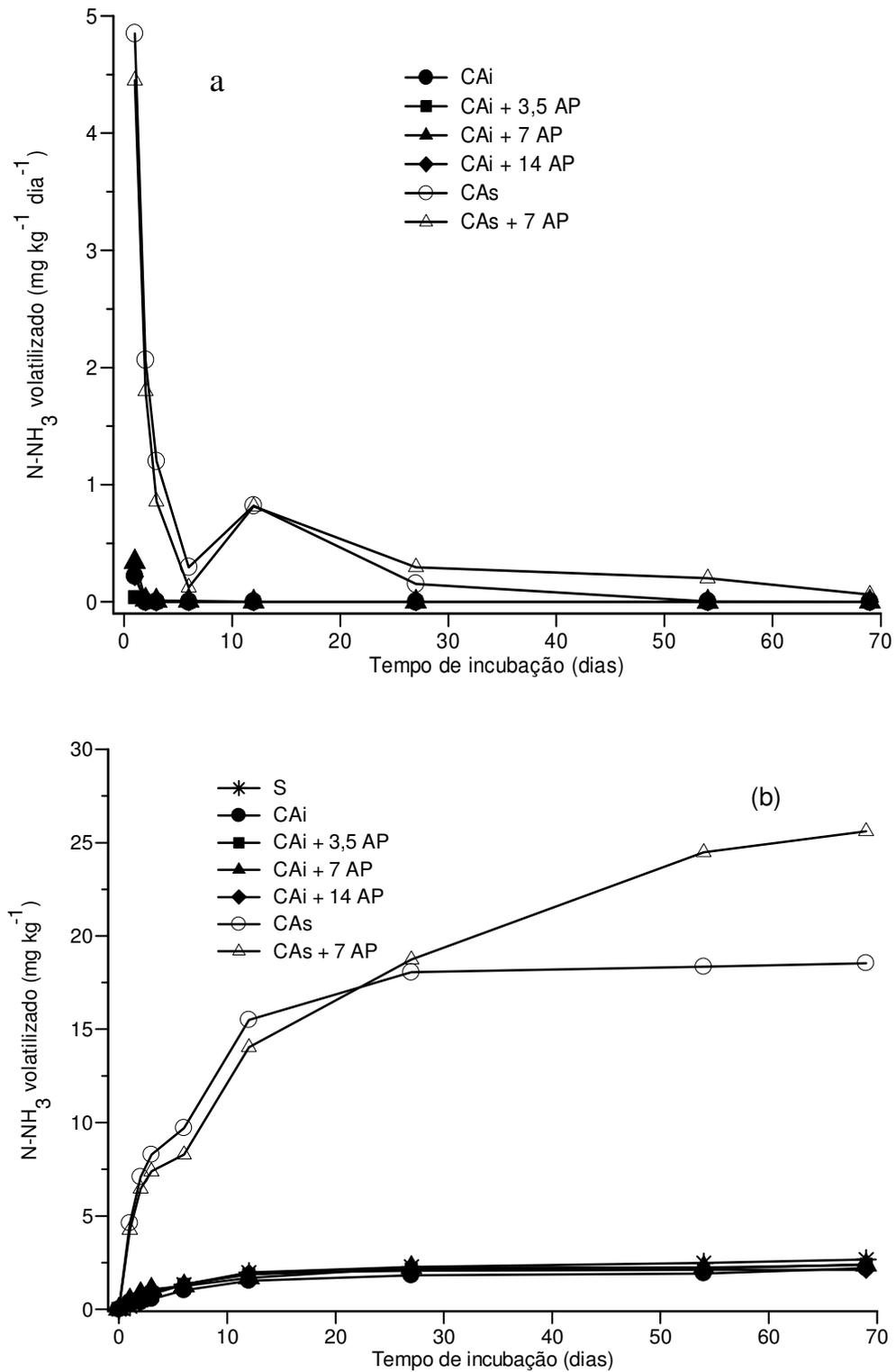


Figura 1 - Fluxos de NH_3 (a) e quantidades de NH_3 volatilizadas no tratamento testemunha (S) e nos tratamentos com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs), nos tratamentos com CAi + Agrotain Plus (AP), nas doses de 3,5, 7,0 e 14 kg de AP ha^{-1} , e no tratamento com CAs + 7kg de AP ha^{-1} .

Embora fosse esperado o aumento da volatilização de NH_3 com a adição conjunta da cama e do inibidor na superfície do solo, a dúvida que fica é sobre a razão pela qual esse aumento ocorreu apenas a partir da amostragem realizada aos 27 dias. Os resultados do capítulo 1 mostram que o inibidor de nitrificação, na dose de 7 kg ha^{-1} , manteve maior quantidade de N amoniacal no solo justamente até os 27 dias. Portanto era de se esperar que o eventual aumento da volatilização de NH_3 ocorresse nesse período. As avaliações realizadas no presente trabalho não permitem identificar os fatores condicionantes desse aumento na volatilização de NH_3 com o uso do inibidor apenas após 27 dias.

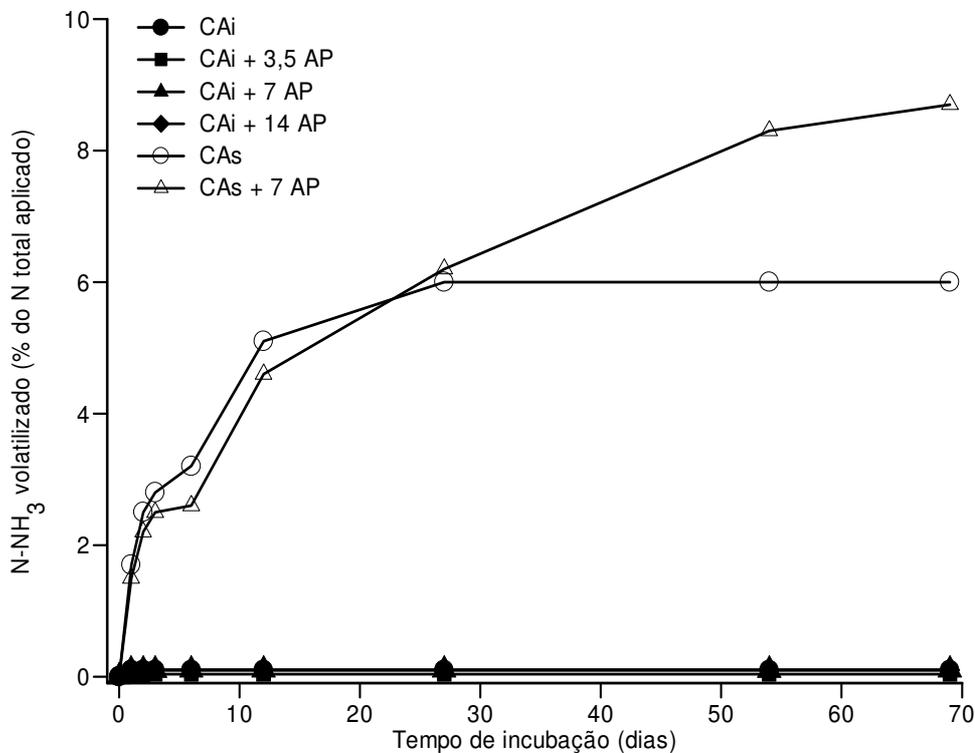


Figura 2 - Volatilização de NH_3 , expressa como um porcentagem do N amoniacal aplicado ao solo com a cama de aviário, nos tratamentos com cama incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs), nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha^{-1} e no tratamento com CAs + 7kg de AP ha^{-1} .

3.3.2 Mineralização do Nitrogênio da cama de aviário

O teor médio de N mineral encontrado no solo dos seis tratamentos com cama de aviário (CA) no tempo 0 foi de $99,1 \text{ mg kg}^{-1}$, que descontado do teor de N mineral presente originalmente no solo ($16,5 \text{ mg kg}^{-1}$), corresponde a $82,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (Figura 3). Esse valor representa 93,8 % do N mineral aplicado ao solo com a cama de aviário, na forma de N-NH_4^+ (57 mg kg^{-1}) e N-NO_3^- (31 mg kg^{-1}) (Tabela 1 do capítulo 1). Esse déficit de 6,2% na recuperação do N mineral aplicado pode ser atribuído a rápida volatilização de amônia (NH_3) no manuseio da cama durante a instalação dos tratamentos. A fixação de amônio pela fração argila do solo também é um processo rápido (Recouset al., 1988), mas que não deve ter ocorrido no presente trabalho, uma vez que a recuperação de N mineral foi semelhante entre os tratamentos com CA na superfície ou incorporada ao solo. Caso a fixação tivesse ocorrido, a recuperação do N mineral deveria ter sido menor no tratamento com CA incorporada.

Na figura 3a se observa que nos tratamentos com adição de CA o teor de N mineral foi superior ao tratamento testemunha e que essa diferença foi aumentando durante a incubação, o que evidencia a ocorrência de mineralização do N orgânico aplicado ao solo com a CA. O fato do aumento dos teores de N mineral ter ocorrido a taxas diferentes entre os tratamentos com CA e o tratamento testemunha é reflexo das diferenças no tipo de material orgânico disponível aos microrganismos heterotróficos nas duas situações. Na CA o material disponível como fonte de carbono, energia e nutrientes aos microrganismos é a maravalha e os dejetos produzidos pelas aves, enquanto no solo esses elementos são obtidos da matéria orgânica do solo (MOS), caracterizada pelo seu elevado grau de recalcitrância. Por isso, no tratamento testemunha, o aumento do N mineral do solo ocorreu de forma contínua e lenta ao longo do experimento, comportamento já observado em outras incubações (Damasceno, 2010; STÜKER, 2010). Esse processo de decomposição lenta da MOS é denominado de mineralização basal e corre quando não há adição recente de materiais orgânicos ao solo (MARY; RECOUS, 1994). Observa-se na figura 3a que, em 69 dias, a liberação de N da MOS foi de $17,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo, o que representa uma quantidade de N mineral 106% maior do que aquela presente no solo no início da incubação, demonstrando o potencial do solo relativo à mineralização de N da MOS.

Além da taxa mais elevada de produção de N mineral nos tratamentos com CA, em relação ao tratamento testemunha, a cinética de acúmulo também diferiu nas duas situações. Enquanto na testemunha, sem CA, o acúmulo de N ocorreu de modo contínuo, nos

tratamentos com CA ocorreu uma redução nos teores de N mineral no solo até a amostragem realizada aos 12 dias, indicando a ocorrência de imobilização de N (Figura 3b).

O efeito dos tratamentos sobre os processos líquidos de mineralização/imobilização pode ser observado mais claramente na figura 3b, onde, em cada amostragem, a variação nos teores de N mineral do tratamento testemunha foi descontada da variação dos teores de N mineral dos tratamentos com CA. Valores negativos desse cálculo indicam a ocorrência de imobilização líquida de N enquanto valores positivos indicam mineralização líquida.

Na figura 3b se observa que, com exceção do tratamento em que a CA foi adicionada na superfície do solo, sem Agrotain Plus (AP), nos demais tratamentos ocorreu redução no N mineral do solo, cujo valor variou de 2,8 a 26,1 mg kg⁻¹ de solo nos primeiros 3 dias e de 12,2 a 21,0 mg kg⁻¹ de solo aos 6 dias. Na amostragem realizada aos 12 dias, apenas os dois tratamentos com CA na superfície do solo apresentaram valores positivos de N mineral, enquanto nos quatro tratamentos com CA incorporada a redução média nos teores de N mineral foi de 7,4 mg kg⁻¹ de solo. Essa redução inicial observada nos teores de N mineral do solo nos tratamentos com CA foi maior nos tratamentos com incorporação da CA ao solo (Figura 3b) e pode ser atribuída à imobilização microbiana de N. O fato de ter ocorrido imobilização líquida de N nos tratamentos com CA, mesmo com a baixa relação C/N, de apenas 9/1 deste material orgânico (Tabela 1 do capítulo 1), contraria a informação clássica de que esse processo microbiano ocorre com valores de C/N superiores a 25/1 (SYLVIA et al., 1998). Todavia, imobilização líquida de N também tem sido observada em outros estudos com adição de cama de aviário, mesmo com relação C/N de apenas 6,3/1 (COOPERBAND et al., 2002). Tais resultados evidenciam que os processos de mineralização/imobilização de nitrogênio não dependem apenas da relação C/N dos materiais orgânicos, mas também da qualidade dos compostos que contém nitrogênio e carbono. Por isso, a importância em conhecer a composição bioquímica dos materiais orgânicos, principalmente os teores de celulose, hemicelulose e lignina. No presente trabalho, esses constituintes da cama de aviário não foram quantificados.

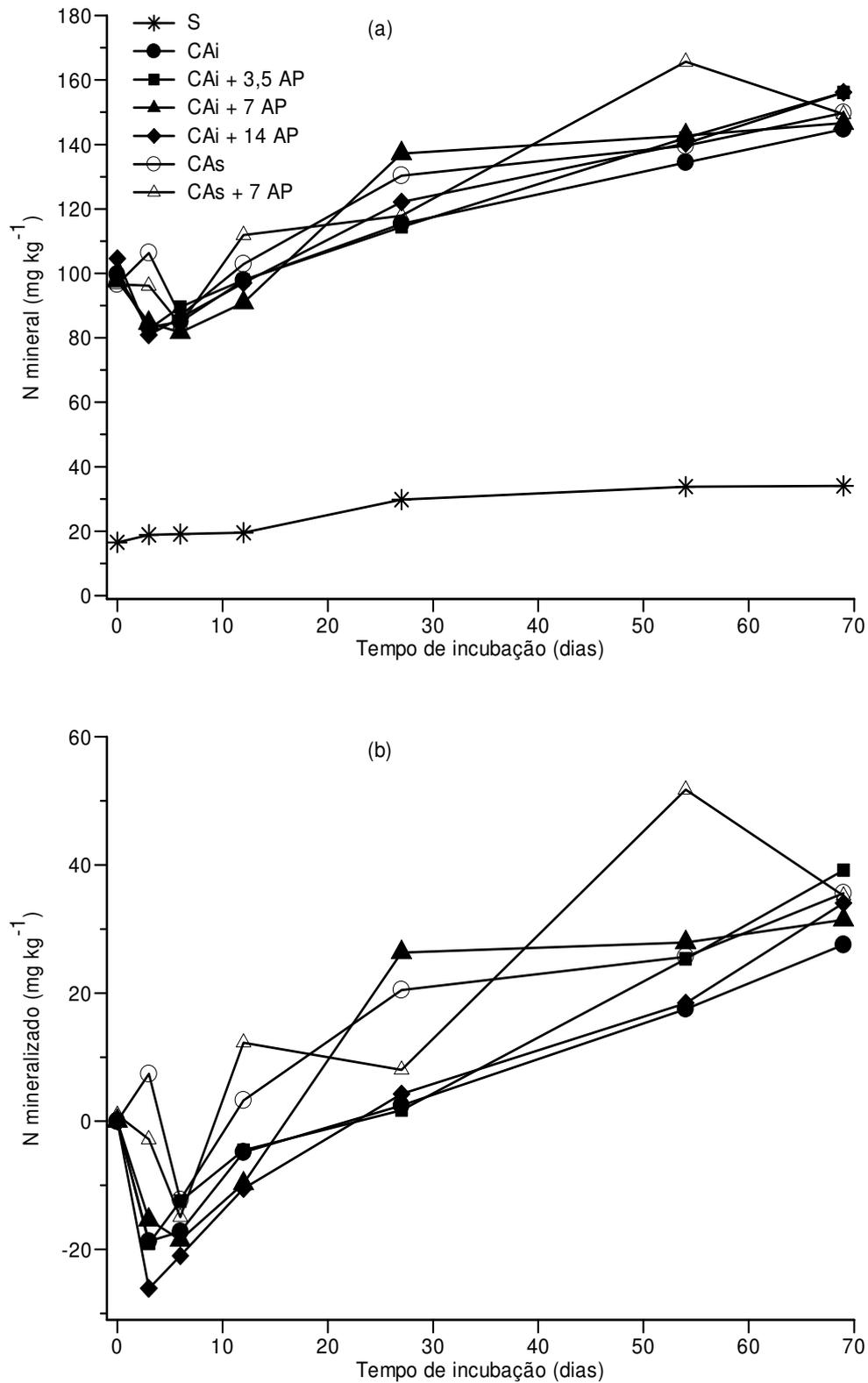


Figura 3 - N mineral (a) e N mineralizado (b) nos tratamentos testemunha (S), com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com CAi + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha⁻¹ e nos tratamento com CAs + 7 kg de AP ha⁻¹.

A ocorrência e a magnitude dessa imobilização inicial de N devem estar relacionadas, principalmente, ao estado de decomposição da cama de aviário antes da sua adição ao solo. Quanto maior o grau de decomposição da fração orgânica biodegradável da cama, menor será a demanda microbiana em N. Assim, a ocorrência de imobilização microbiana de N, conforme observado nas primeiras duas semanas do presente trabalho poderá ter efeito negativo sobre as culturas, especialmente em solos arenosos, pobres em MOS, já que ocorre uma redução na disponibilidade de N. Por outro lado, essa imobilização temporária de N pode ser favorável do ponto de vista ambiental, já que ela mantém temporariamente no solo o N na forma orgânica, podendo reduzir as perdas iniciais de N por volatilização de amônia, lixiviação de NO_3^- e desnitrificação.

Comparando os seis tratamentos com adição CA ao solo, observa-se que as variações nas quantidades de N mineral entre os tratamentos foram maiores durante a incubação do que ao final da mesma, aos 69 dias (Figura 3b). Quando a CA foi incorporada ao solo sem AP o acúmulo líquido de N mineral em 69 dias foi de $27,5 \text{ mg kg}^{-1}$ enquanto nos três tratamentos em que a cama foi incorporada juntamente AP, o acúmulo de N mineral variou de $31,4$ na dose de $7,0 \text{ kg de AP ha}^{-1}$ a $39,1 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de $3,5 \text{ kg de AP ha}^{-1}$. Esse aumento médio de 28% na quantidade de N mineral nos tratamentos com adição de AP, não pode ser atribuído à mineralização do N adicionado ao solo com o AP, já que na incubação realizada por Stüker (2010), sob condições similares ao presente trabalho, não houve mineralização líquida do N do AP em 60 dias. Além disso, se a mineralização do N do produto fosse a causa desse aumento ela deveria ter ocorrido proporcionalmente à dose empregada, o que não ocorreu já que na maior dose de AP (14 kg ha^{-1}) o N mineral acumulado no solo foi de $34,0 \text{ mg kg}^{-1}$. A quantidade de N adicionada ao solo com o AP, o qual contém 81% de DCD, com 65% de N, foi de apenas $13,5 \text{ mg kg}^{-1}$, o que representa apenas 5,1% do N adicionado ao solo com a CA (Tabela 1 do capítulo 1). Portanto, é preciso confirmar em trabalhos futuros tais resultados, bem como identificar as suas causas.

Um resultado a destacar, e que contraria a expectativa inicial, refere-se ao fato de que, na maioria das amostragens realizadas, a incorporação da cama de aviário no solo reduziu a mineralização do N, relativamente a sua adição na superfície do solo (Figura 3b), conforme é feito com a aplicação da cama no campo, em sistema de plantio direto. A incorporação dos materiais orgânicos aumenta o contato dos mesmos com o solo e, por isso, essa prática tem favorecido a mineralização do N na maioria das situações como, por exemplo, no trabalho de Cargnin (2007). Todavia, a redução da taxa de mineralização do N em função da incorporação

de materiais orgânicos ao solo também tem sido observada e, quando ocorre, ela tem sido atribuída à proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados do solo, o que dificulta o acesso dos microrganismos à fonte de carbono e nutrientes.

É provável que a maior mineralização do N orgânico da cama, observada quando a mesma foi adicionada na superfície do solo, se deva às condições de umidade durante a incubação, já que a umidade do solo foi mantida em valores considerados como ideais à atividade microbiana. Com a aplicação da cama de aviário na superfície do solo sob condições de campo, conforme é feito em plantio direto, a cama está sujeita aos ciclos naturais de umedecimento, por ocasião das chuvas, e de secagem. Por outro lado, a cama incorporada ao solo é mantida sob condições menos variáveis de umidade e também de temperatura. Por isso, é de se esperar que em condições de campo as diferenças na mineralização do N da cama, em função da sua localização no solo, sejam menores do que as observadas no presente trabalho.

Quanto à mineralização acumulada de N em 69 dias, ela foi de $35,6 \text{ mg kg}^{-1}$ no tratamento em que a cama foi adicionada na superfície do solo, sem AP, e de $27,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo no tratamento em que a cama foi incorporada. Considerando que a mineralização líquida ocorreu nesses dois tratamentos apenas após 12 dias, tais valores de mineralização de N correspondem a taxas de $0,62 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $0,48 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Esses valores de mineralização líquida de N, de $35,6$ e $27,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para os tratamentos com cama na superfície e incorporada no solo correspondem a 20,1 e 15,6 % do N orgânico adicionado, de 177 mg kg^{-1} (Tabela 1 do capítulo 1), respectivamente.

Tanto a quantidade como a cinética de mineralização do N de cama de aviário são aspectos que variam significativamente entre as diferentes situações, sendo que essa variabilidade resulta das diferenças na composição química da cama, nas características do solo e nas condições ambientais, com destaque para a umidade e temperatura (ABBASI et al., 2007; SISTANI et al., 2008; MUBARAK et al., 2010; GRIJALVA et al., 2010). No trabalho de Abbasi, por exemplo, a mineralização do N orgânico da cama de aviário ao final de 120 dias de incubação foi de apenas 8%, o que levou os autores a concluir que, em função dessa baixa liberação de N inorgânico a partir do N orgânico da cama, esse material apresentou pequeno efeito fertilizante nitrogenado. Avaliando a interação entre tipos de cama de aviário e de solos durante 90 dias de incubação, Grijalva et al. (2010) encontraram índices de mineralização do N orgânico de 84 e 61% para cama fresca, compostada e peletizada, respectivamente. Mudando apenas o tipo de solo, esses valores diminuíram para 41 e 25%. Na incubação realizada durante 60 dias a 30°C por Yadvinder-Singh et al. (2009) a mineralização do N da cama atingiu 46% do N orgânico adicionado.

Aplicando o índice médio de mineralização líquida do N de 17,9%, obtido para os dois tratamentos com adição da cama, na superfície do solo ou incorporada e sem AP, à quantidade de N orgânico adicionada ao solo com a cama (177 mg kg^{-1} , conforme tabela 1 do capítulo 1), chega-se a uma quantidade de N mineralizado de $31,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo. Esse valor pode ser considerado baixo para um período de 69 dias, considerando culturas exigentes em N como, por exemplo, o milho. Além disso, é importante destacar que, sob condições de campo, esse índice de mineralização deve ser ainda menor, já que, normalmente, as condições são menos favoráveis do que aquelas predominantes durante a incubação realizada.

3.3.3 Mineralização do Carbono da cama de aviário

A mineralização do carbono (Figura 4) seguiu o padrão clássico observado em outros trabalhos (GIACOMINI, 2005, STÜKER, 2010), tanto para os tratamentos que receberam adição da cama de aviário quanto para o tratamento testemunha.

Nos tratamentos com cama, a liberação de CO_2 pode ser separada em três fases. A primeira e mais rápida foi observada nos primeiros seis dias (Figura 4) ocorrendo a uma taxa média de $75,7 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ mg solo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nos tratamentos com cama. A segunda fase, cuja taxa de liberação de C-CO_2 nesses mesmos tratamentos foi de $19,0 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ mg solo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, ocorreu dos seis aos 27 dias enquanto a terceira fase foi mais longa (dos 27 aos 97 dias) e ocorreu a taxas menores ($5,9 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ mg solo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$).

Essas diferenças refletem a atuação da população microbiana heterotrófica do solo sobre a decomposição de compostos orgânicos com diferentes graus de biodegradabilidade. Inicialmente são atacados os compostos mais facilmente decomponíveis como, por exemplo, a fração solúvel em água, seguidos de compostos como a celulose e hemicelulose e por último de compostos mais recalcitrantes como a lignina, cuja capacidade de decomposição é restrita a um número limitado de microrganismos especializados do solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

No tratamento testemunha a liberação de CO_2 ocorreu a taxas menores do que nos tratamentos com cama, o que se deve à adição de carbono, nutrientes e energia aos microrganismos do solo pela cama. Observa-se que, contrariamente aos tratamentos com adição de cama, no tratamento testemunha a liberação de CO_2 ocorreu do modo praticamente linear durante todo o experimento (Figura 4). A menor atividade microbiana nesse tratamento,

expressa por uma taxa de liberação média de CO_2 durante todo o experimento de apenas $2,9 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ mg solo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, se deve ao tipo de material orgânico disponível aos microrganismos do solo.

No solo sem adição recente de materiais orgânicos o carbono e energia disponíveis aos microrganismos estão contidos nas substâncias húmicas, de origem vegetal e microbiana. Tais substâncias são formadas por moléculas recalcitrantes (Moreira; Siqueira, 2006) e, por isso, são lentamente decompostas pelos microrganismos, conforme ilustrado pela lenta e constante liberação de CO_2 do tratamento testemunha (Figura 4 e Figura 5a). A mineralização aparente do C nos seis tratamentos com adição de cama, descontando-se o C liberado como CO_2 do tratamento testemunha, é apresentada na figura 5b.

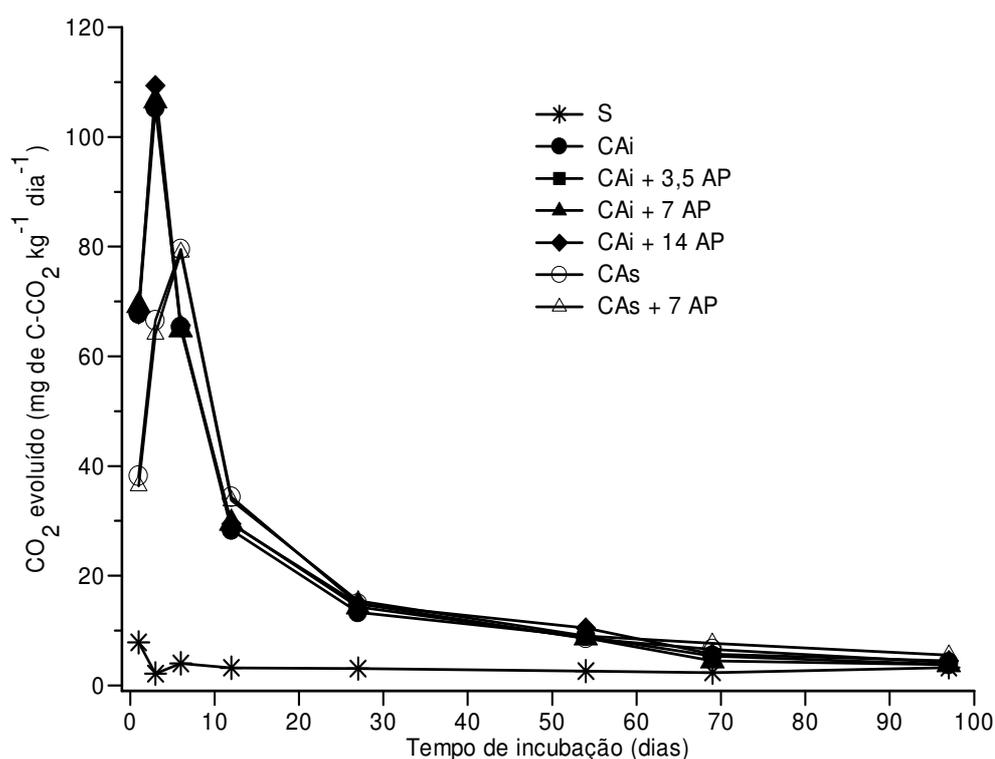


Figura 4 - Fluxos de CO_2 no tratamento testemunha (S), nos tratamentos com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com Cai + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha^{-1} e no tratamento com CAs + $7 \text{ kg de AP ha}^{-1}$.

Conforme já observado e discutido anteriormente para a mineralização do N, a incorporação da cama ao solo também não favoreceu a mineralização do C deste material orgânico. Em 97 dias de incubação aproximadamente 46% do C da cama foi mineralizado nas

duas modalidades de uso da cama (superfície x incorporada). Esse valor de mineralização do C da cama é inferior ao encontrado por Paré et al. (2000), de 62%, numa incubação conduzida a 25°C durante 60 dias. Essas diferenças observadas nos índices de mineralização do C entre os trabalhos devem estar relacionadas a diferenças nas características dos solos, e principalmente, das camas utilizadas nas incubações.

A natureza do material orgânico utilizado como cama e o número de lotes de animais criados sobre a mesma cama devem ter efeito marcante sobre a velocidade de mineralização do C quando a mesma é adicionada ao solo.

Um aspecto interessante a destacar refere-se ao efeito do produto Agrotain Plus (AP) sobre a mineralização do C adicionado ao solo com a cama. Dentro da mesma modalidade de uso da cama, observa-se que a mineralização do C aumentou de 46,6% no tratamento com adição exclusiva de cama na superfície do solo para 49,6% no tratamento em que foi adicionado AP, na dose de 7 kg ha⁻¹, juntamente com a cama (Figura 5b).

Com a incorporação da cama ao solo a mineralização aumentou de 45,9% no tratamento sem AP, para 50,8% no tratamento em que a cama foi incorporada juntamente com a maior dose de AP (14 kg ha⁻¹). Esse efeito, embora não tenha sido detectado nas doses de 3,5 e 7,0 kg ha⁻¹ de AP incorporadas ao solo com a cama, também foi relatado por Stüker (2010) quando o produto foi adicionado ao solo juntamente com dejetos líquidos de suínos.

Nesse caso, a mineralização do C dos dejetos, após 60 dias de incubação, aumentou de 35% no tratamento com uso exclusivo de dejetos para 43% quando os dejetos foram incorporados ao solo juntamente com AP na dose de 7,0 kg ha⁻¹.

Tal efeito não pode ser atribuído à mineralização do C contido no AP pela população microbiana do solo, em função da pequena quantidade de C adicionada ao solo pelo produto, de apenas 6,76 mg kg⁻¹ de solo na dose de 14 kg ha⁻¹. Essa adição de C representa apenas 0,27% da quantidade de C adicionada pela cama de aviário (Tabela 1 do capítulo 1).

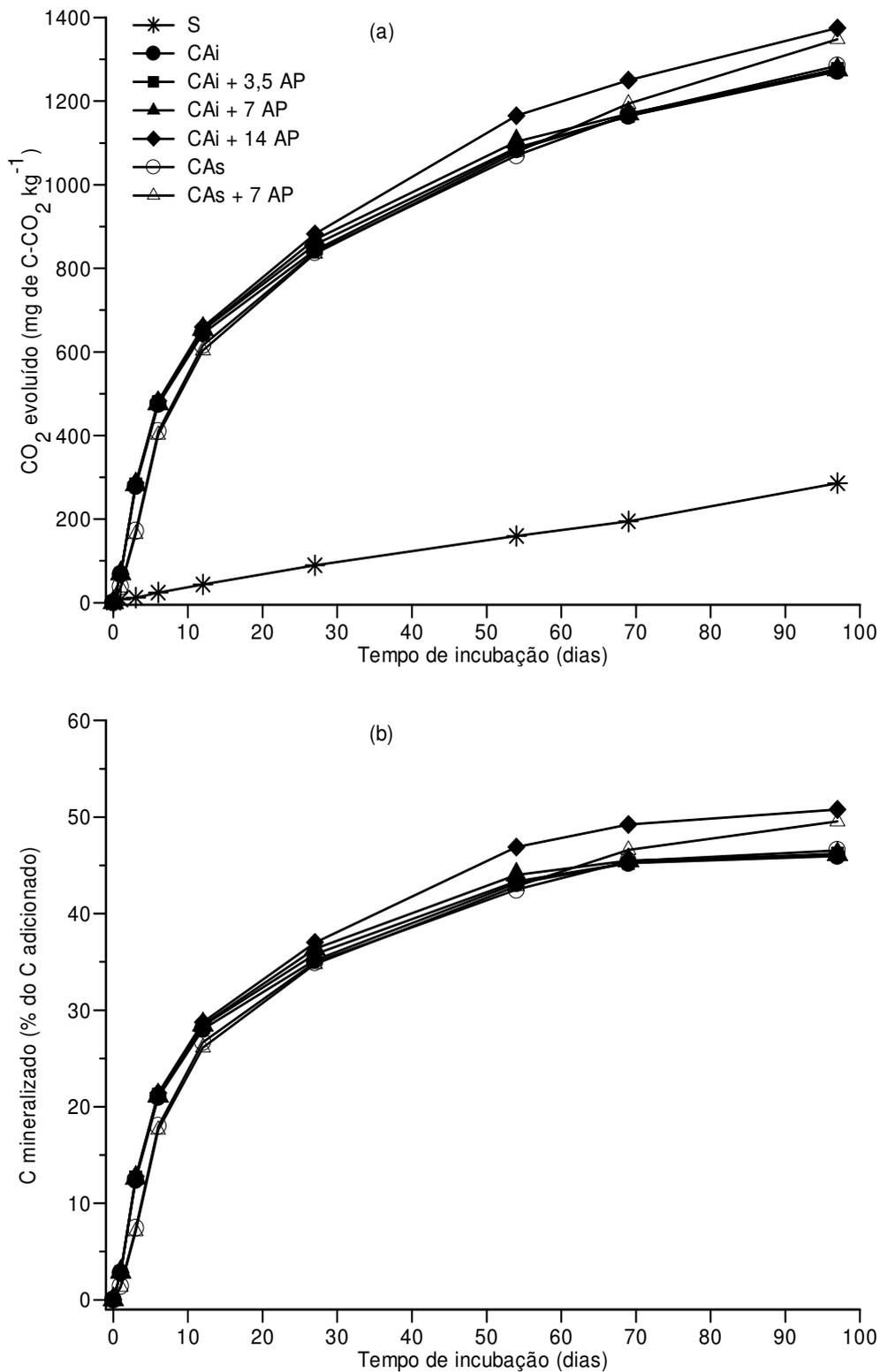


Figura 5 - CO₂ liberado (a) e C mineralizado (b) nos tratamentos testemunha (S), com cama de aviário incorporada (CAi) e na superfície do solo (CAs) e nos tratamentos com CAi + Agrotain Plus (AP) nas doses de 3,5, 7,0 e 14 kg ha⁻¹ e nos tratamento com CAs + 7kg de AP ha⁻¹.

É preciso investigar em trabalhos futuros se esse efeito se confirma e se ele está ligado ao favorecimento de algum grupo microbiano específico envolvido na decomposição dos compostos orgânicos da cama.

3.4 Conclusões

A incorporação da cama de aviário reduziu a mineralização do C e eliminou as perdas de N por volatilização de NH_3 , em relação a sua aplicação na superfície do solo.

A aplicação de Agrotain Plus junto à cama de aviário, na superfície do solo, aumentou a volatilização de NH_3 em 38% aos 69 dias.

O Agrotain Plus aumentou a mineralização do C e do N da cama de aviário em 4% e 28%, respectivamente, independente da dose do produto aplicada ao solo.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, M. K.; et al. Mineralization of three organic manures used as nitrogen source in a soil incubated under laboratory conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p. 1691-1711, 2007.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 95-102, 2007.

AMBERGER, A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 20, n. 19-20, p. 1933-1955, 1989.

ASING, J.; et al. Assessment of nitrogen losses from urea and an organic manure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v.46, n. 6-7, p.535-541, 2008.

AZEEZ, J. O.; VAN AVERBEKE, W. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 14, p. 5645-5651, 2010.

CARNEIRO, J.; et al. Effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on microbial communities and N₂O from an arable soil fertilized with ammonium sulphate. **Environmental chemistry letters**, v. 8, n. 3, p. 237-246, 2010.

CASTRO, C. M.; et al. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 495-502, 2005.

COOPERBAND, L.; BOLLERO, G.; COALE, F. Effect of poultry litter and composts on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 62, n. 2, p. 185-194, 2002.

DAMASCENO, F. **Injeção de dejetos de suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nitroso**. 2010. 121p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

DI, H. J.; CAMERON, K. C.; SHERLOCK, R. R. Comparison of the effectiveness of a nitrification inhibitor, dicyandiamide, in reducing nitrous oxide emissions in four different

soils under different climatic and management conditions. **Soil Use and Management**, v. 23, n.1, p. 1-9, 2007.

DIAZ, D. A. R.; SAWYER, J. E.; MALLARINO, A. P. Poultry manure supply of potentially available nitrogen with soil incubation. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 5, p. 1310-1317, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006, 306 p.

FRYE, W. Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. In: **IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers**. Germany, p. 28-30, 2005.

FUKAYAMA, E.H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 95 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2008.

GRIJALVA, D. F. M.; et al. Nitrogen, phosphorus, and liming effects of poultry layer manures in Coastal Plain and Piedmont soils. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 5, p. 1329-1339, 2010.

HATCH, D.; et al. Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact of diurnal temperature cycle. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, n.4, p. 225-232, 2005.

IBGE. **Estatística da Produção Pecuária**. Rio de Janeiro, IBGE, jun. 2011, 32 pgs.

MARY, B.; RECOUS, S. Measurement of nitrogen mineralization and immobilization fluxes in soil as a mean of predicting net mineralization. **European Journal of Agronomy**, v. 3, p. 291-300, 1994.

MEIJIDE, A. et al. Nitrogen oxide emissions from an irrigated maize crop amended with treated pig slurries and composts in a Mediterranean climate. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 121, p. 383-394, 2007.

MERINO, P.; et al. Mitigation of N₂O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry. **Soil Use and Management**, v. 18, n. 2, p. 135-141, 2002.

MKHABELA, M. S.; et al. Ammonia and nitrous oxide emissions from two acidic soils of Nova Scotia fertilized with liquid hog manure mixed with or without dicyandiamide. **Chemosphere**, v. 65, n. 8, p. 1381-1387, 2006.

MOIR, J. L.; CAMERON, K. C.; DI, H. J. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 2, p. 111-120, 2007.

MUBARAK, A. R.; et al. Nitrogen mineralization from Five manures as influenced by chemical composition and soil type. **Communications in soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 16, p. 1903-1920, 2010.

PARÉ, T.; DINELA, H.; SCHNITZER, M. Carbon and nitrogen mineralization in soil amended with non-tabletized and tabletized poultry manure. **Canadian journal of Soil Science**, v. 80, n. 271-276, 2000.

RECOUS, S.; FRESNEAU, C.; MARY, B. The fate of labeled ¹⁵N urea and ammonium nitrate applied to a winter wheat crop. **Plant and Soil**, v. 112, p. 205-214, 1988.

REDDY, K. C.; et al. Effect of five-year continuous poultry litter use in cotton production on major soil nutrients. **Agronomy Journal**, v. 100, n.4, p. 1047-1055, 2008.

SALLADE, Y.E.; SIMS, J.T. Evaluation of thiosulfate as a nitrification inhibitor for manures and fertilizers. **Plant and Soil**, v. 147, n. 2, p. 283-291, 1992.

SALLADE, Y.E.; SIMS, J.T. Nitrate leaching in an Atlantic Coastal-Plain soil amended with poultry manure or urea ammonium-nitrate - influence of thiosulfate. **Water Air And Soil Pollution**, v. 78, n. 3/4, p. 307-316, 1994.

SAUER, T. J.; et al. Nitrous oxide emissions from a bermudagrass pasture: Interseeded winter rye and poultry litter. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 1417-1424, 2009.

SINGH, J.; et al. Decomposition of dicyandiamide (DCD) in three contrasting soils and its effect on nitrous oxide emission, soil respiratory activity, and microbial biomass: an incubation study. **Australian Journal of Soil Research**, v.46, n.6-7, p.517-525, 2008a.

SINGH, J.; et al. The role of inhibitors in the bioavailability and mitigation of nitrogen losses in grassland ecosystems. **Developments in Soil Science**, v. 32, p. 329-362, 2008b.

SISTANI, K. R.; et al. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2603-2611, 2008.

SOMMER, S. G.; et al. Processes controlling ammonia emissions from livestock slurry in the field. **European Journal of Agronomy**, v. 19, n. 4, p. 465-486, 2003.

STUKER, F. **Dicianodiamida (DCD) como inibidor da nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos no solo**. 2010. 77p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

SUBBARAO, G. V.; et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 303-335, 2006.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N. Sistemas de preparo do solo, doses e fontes de adubo nitrogenado na produtividade de milho. **Agropecuária Catarinense**, v. 20, p. 67-71, 2007.

SCHERER, E.E. & BARTZ, H.R. **Adubação do feijoeiro com esterco de aves, nitrogênio, fósforo e potássio**. 2.ed. Florianópolis, EMPASC, 1984. 15p. (Boletim Técnico, 10).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VALLEJO, A.; et al. Comparaison of N losses (NO_3^- , N_2O , NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, v. 272, n. 1/2, p. 313-325, 2005.

VAREL, V. H. Use of urease inhibitors to control nitrogen loss from livestock waste. **Bioresource Technology**, v. 62, n. 1/2, p. 11-17, 1997.

YADVINDER-SINGH; et al. Poultry litter as a nitrogen and phosphorous source for the rice-wheat cropping system. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, n. 7, p. 701-710, 2009.

ZAMAN, M.; et al. Reducing NH_3 , N_2O and NO_3^- N losses from a pasture soil with urease nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, n. 5, p. 693-705, 2008.