

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MATEUS HENRIQUE DOS SANTOS DINIZ

TRANSFORMAÇÃO BIOQUÍMICA DA UREIA EM LATOSSOLOS DO BIOMA
CERRADO

Uberlândia – MG

2022

MATEUS HENRIQUE DOS SANTOS DINIZ

TRANSFORMAÇÃO BIOQUÍMICA DA UREIA EM LATOSSOLOS DO BIOMA
CERRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de “mestre” em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Adão de Siqueira Ferreira

Uberlândia – MG

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D585
2022 Diniz, Mateus Henrique dos Santos, 1994-
 Transformação bioquímica da ureia em Latossolos do
 bioma Cerrado [recurso eletrônico] / Mateus Henrique dos
 Santos Diniz. - 2022.

 Orientador: Adão de Siqueira Ferreira.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
 Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia.
 Modo de acesso: Internet.
 Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.160>
 Inclui bibliografia.

 1. Agronomia. I. Ferreira, Adão de Siqueira, 1969-
 (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
 graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecárias responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 008/2022, PPGAGRO				
Data:	Três de março de mil e vinte e dois	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:30
Matrícula do Discente:	12012AGR016				
Nome do Discente:	Mateus Henrique dos Santos Diniz				
Título do Trabalho:	Transformação bioquímica da ureia em Latossolos do bioma Cerrado				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Araína Hulmman Batista - UFU; Wedisson Oliveira Santos - UFU; Samantha Salomão Caramori - UEG; Adão de Siqueira Ferreira - UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Adão de Siqueira Ferreira, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Adão de Siqueira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/03/2022, às 12:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Samantha Salomão Caramori, Usuário Externo**, em 03/03/2022, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wedisson Oliveira Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/03/2022, às 18:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Araína Hulmann Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/03/2022, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3347151** e o código CRC **65B07215**.

MATEUS HENRIQUE DOS SANTOS DINIZ

TRANSFORMAÇÃO BIOQUÍMICA DA UREIA EM LATOSSOLOS DO BIOMA
CERRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de “mestre” em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Adão de Siqueira Ferreira

Uberlândia, 03 de março de 2022.

Banca Examinadora:

Araína Hulmann Batista - Dr^a. em Ciência do solo - UFU

Samatha Salomão Caramori - Dr^a. em Ciências Biológicas UEG

Wedisson Oliveira Santos - Dr. em Solos e Nutrição de Plantas - UFU

AGRADECIMENTOS

Aos espíritos de luz, por me nortearem pelos caminhos da vida.

Aos meus pais (*in memoriam*), pela presença espiritual que me aconchega e que motiva minha evolução.

Aos meus irmãos e à minha avó, por serem meu alicerce e por me apoiarem diante dos desafios.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) pela disponibilização do curso de pós-graduação e pela bolsa de estudos.

Ao professor Dr. Adão de Siqueira Ferreira, pela orientação e pelas relevantes sugestões para a elaboração da dissertação e, principalmente, pela paciência, pela confiança e pelo apoio no compartilhamento de seus conhecimentos.

E, por último, a todos os docentes e amigos que contribuíram, direta ou indiretamente, com sua ajuda ao longo dos meus cursos de graduação e de pós-graduação e que culminaram na conclusão deste trabalho e na obtenção do grau de mestre em ciências.

RESUMO

Quantidades de nitrogênio (N) contido no fertilizante ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) são cedidas para a atmosfera por volatilização de amônia (NH_3), resultando em consequências na produção. O objetivo deste estudo foi determinar a sensibilização da volatilização do N presente na NH_3 e a dinâmica da bioquímica da hidrólise da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ causada pela enzima urease diante de diferentes temperaturas, concentrações de ureia e tipos de solo. A relevância do trabalho reside no fato de que o entendimento de tal processo auxilia na compreensão dos prejuízos trazidos ao plantio pela volatilização de N em face das relevantes perdas de amônia graças à referida hidrólise, volatilização essa que é mais intensa em condições ambientais quentes e úmidas e que acarreta perda de eficiência da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ aplicada, bem como da assimilação de N pelo solo, o que gera maiores custos de plantio. Um estudo laboratorial foi elaborado para apontar as perdas de N presentes na $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e a atividade da urease em duas texturas de solos tropicais: Franco argiloso arenosa e Franco arenoso (Latosols). As amostras foram incubadas em quatro temperaturas: 20, 25, 30 e 35 °C. Em cada uma dessas temperaturas foram feitos testes com diferentes quantidades de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ em pó incorporadas ao volume do solo: 0; 2,5 e 5,0 mg/g. A depender da análise realizada, o tempo de incubação das amostras foi de seis ou dez dias. Durante o período de incubação foram realizadas as medições da atividade enzimática, da determinação do amônio (NH_4), do pH e da volatilização de (NH_3). Os valores encontrados mostram que as maiores doses do adubo apresentam maiores resultados em ambos os tipos de solos analisados. A atividade da urease foi maior a 25 °C. Entre 30 °C e 35 °C houve maior disponibilidade de NH_4 juntamente com as maiores perdas por volatilização em curto espaço de tempo. Já o pH apresentou alteração constante diante da variação de temperatura e da presença do fertilizante, tendo o pH a 35 °C se tornado levemente destacado somente no solo de textura arenosa. O pico máximo de volatilização da NH_3 antecedeu o ponto superior enzimático, o que é explicado pela interação desse gás com os constituintes do solo reagindo com o ambiente ácido e com a microbiota, estimulando a atividade da urease e a concentração de NH_4 restando a parcela perdida do fertilizante na forma de NH_3 .

Palavras-chaves: Latossolos do Cerrado; fertilizante nitrogenado; urease; volatilização do nitrogênio.

ABSTRACT

When the fertilizer urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) is applied in the soil there are amounts of nitrogen (N) contained in this fertilizer that are released into the atmosphere by ammonia (NH_3) volatilization, which results in production consequences. The objective of this study was to determine the sensitization of the volatilization of N present in NH_3 and the dynamics of the biochemistry of urea hydrolysis caused by the urease enzyme under different temperatures, fertilizer concentrations and soil types. The relevance of this academic work lies in the fact that knowing this process helps in understanding the damage brought to the plantation by N volatilization due to relevant losses of NH_3 led by such hydrolysis. This volatilization is more intense in hot and humid environmental conditions which leads to some loss of efficiency of the $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ applied as well as N assimilation by the soil which generates higher planting costs. A laboratory study was conducted to point out the losses of N in NH_3 and the urease activity in two tropical soil textures: Franco argiloso arenosa and Franco arenoso (Latosols). The samples were incubated at four temperatures: 20, 25, 30 and 35 °C. At each of these temperatures, tests were performed with different amounts of $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ powder incorporated to the soil volume: 0; 2.5 and 5.0 mg/g. Depending on the analysis performed, the time of incubation of the samples was six or ten days. During the incubation period, enzyme activity, ammonium (NH_4) determination, pH, and NH_3 volatilization were measured. The values found show that higher doses of $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ present higher results in both types of soils analyzed. The urease activity was higher at 25 °C. Between 30 °C and 35°C there was a greater availability of NH_4 together with the greatest losses by volatilization in a short period of time. The pH, on the other hand, showed a constant alteration during the temperature variation and the presence of the fertilizer, with the pH at 35 °C becoming slightly outstanding only in the Franco arenoso texture soil. The maximum peak of NH_3 volatilization preceded the enzymatic upper point, which is explained by the interaction of this gas with the soil constituents reacting with the acidic environment and with the soil microbiota, boosting the urease activity and the NH_4 concentration, leaving the portion of the fertilizer lost in the form of NH_3 .

Keywords: Brazilian latosols; nitrogen fertilizer; urease; nitrogen volatilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Reação simplificada da decomposição da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	20
Figura 2. Esquema simplificado do processo de nitrificação.	23
Figura 3. Esquema simplificado do processo de desnitrificação.	24
Figura 4. Localização das áreas experimentais no município de Uberaba, Estado de Minas Gerais, Brasil.	25
Figura 5. Esquema da montagem do experimento, para o ensaio do amônio (NH_4) presente nas amostras, possuindo dois blocos, as doses de ureia e realizado em três repetições.	33
Figura 6. Esquema da montagem do experimento, para o ensaio de volatilização de N-NH_3 , possuindo dois blocos, as doses de ureia e realizado em quatro repetições.	35
Figura 7. Atividade da enzima urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$), após as aplicações de ureia, sobre o solo argiloso, durante o período de seis dias de incubação em condições laboratoriais.	37
Figura 8. Atividade da enzima urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$), após as aplicações de ureia, sobre o solo arenoso, durante o período de seis dias de incubação em condições laboratoriais.	38
Figura 9. Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco), após as aplicações de ureia, sobre o solo argiloso, durante o período de seis dias de incubação em condições laboratoriais.	40
Figura 10. Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco), após as aplicações de ureia, sobre o solo arenoso, durante o período de seis dias de incubação em condições laboratoriais.	41
Figura 11. Efeito da aplicação de ureia sobre o pH no solo argiloso, durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.	43
Figura 12. Efeito da aplicação de ureia sobre o pH no solo arenoso, durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.	44
Figura 13. Volatilização pontual do N-NH_3 ($\text{mg N-NH}_3 \text{ Kg}^{-1}$ de solo dia^{-1}), após as aplicações de ureia, sobre o solo argiloso, durante o período de dez dias de incubação em condições laboratoriais.	46
Figura 14. Volatilização pontual do N-NH_3 ($\text{mg N-NH}_3 \text{ Kg}^{-1}$ de solo dia^{-1}), após as aplicações de ureia, sobre o solo arenoso, durante o período de dez dias de incubação em condições laboratoriais.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos por textura e por concentrações de ureia (doses).	26
Tabela 2. Caracterização físico-química e respiração basal, estabelecida pelo acúmulo de dióxido de carbono nos solos, no decorrer de 21 dias, dos solos utilizados.	27
Tabela 3. Teste de significância, dos fatores e suas interações, no período de incubação, através do teste de p-valor para a atividade enzimática da urease.	36
Tabela 4. Teste de significância, dos fatores e suas interações, no decorrer do período de incubação, através do teste de p-valor para o amônio.	39
Tabela 5. Teste de significância, dos fatores e suas interações, no decorrer do tempo de incubação, através do teste de p-valor para as leituras de pH.	42
Tabela 6. Teste de significância, dos fatores e suas interações, no decorrer do período de incubação, através do teste de p-valor para a volatilização do nitrogênio contido na amônia.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	porcentagem
$\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$	micrograma de amônio por grama por hora
μL	micrograma por litro
Al^{3+}	íon de alumínio
AMO	monooxigenase da amônia
ANOVA	análise de variância
B	elemento químico boro
C	elemento químico carbono
Ca/K	relação dos elementos químicos cálcio e potássio
Ca/Mg	relação dos elementos químicos cálcio e magnésio
Ca^{2+}	íons de cálcio
C-CO ₂	elemento carbono presente no dióxido de carbono
$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$	centimol de carga por decímetro cúbico
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	fertilizante ureia
CO ₂	dióxido de carbono
CO ₃	carbonato
C-org	carbono orgânico
CTC	capacidade de troca catiônica
Cu	elemento químico cobre
EDTA	ácido etileno diamino tetra acético
Fe	elemento químico ferro
FV	fonte de variação
g	grama

g Kg^{-1}	grama por quilograma
GEE	gás de efeito estufa
H+Al	soma dos dos elementos químicos hidrogênio e alumínio
H_2SO_4	ácido sulfúrico
K	elemento químico potássio
KCl	cloreto de potássio
kg	quilograma
LABAS	Laboratório de Análise de Solos e Calcários
mg	micrograma
$\text{mg NH}_3 \text{ Kg}^{-1}$	micrograma de amônia por quilograma
$\text{mg N-NH}_3 \text{ kg}^{-1}$ de solo dia^{-1}	micrograma de nitrogênio presente na amônia por quilograma de solo ao dia
mg/dm^3	micrograma por decímetros cúbicos
mg/g	micrograma por grama
Mg/K	relação dos elementos químicos magnésio e potássio
Mg^{2+}	íon de magnésio
mL	mililitros
Mn	elemento químico manganês
MO	matéria orgânica
mol L^{-1}	concentração de mol por litro de solução
N	elemento químico nitrogênio
N_2O	óxido nitroso
$\text{N-CO}(\text{NH}_2)_2$	nitrogênio presente no fertilizante ureia
NH_2OH	hidroxilamina
NH_4	íon amônio

NH ₃	gás amônia
(NH ₄) ₂ CO ₃	carbonato de amônio
NH ₄ Cl	cloreto de amônio
NH ₄ NO ₃	nitrato de amônio
N-NH ₃	nitrogênio contido na amônia
NO ₂	nitrito
NO ₃	nitrato
OH	íons de hidroxila
P	elemento químico fósforo
pH	potencial hidrogeniônico
S	elemento químico enxofre
SB	soma de bases trocáveis
t	capacidade de troca catiônica efetiva (t=SB+Al)
T	capacidade de troca catiônica a pH 7,0
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
V	saturação por bases na CTC potencial
Zn	elemento químico zinco
μg NH ₄ .g ⁻¹ solo seco	micrograma de amônio por grama por solo seco
μg NH ₄ /g/h	micrograma de amônio por grama por hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo geral	16
1.2 Objetivos específicos	16
2.REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Nitrogênio (N)	17
2.2 Solo	18
2.3 Ações bioquímicas	19
2.3.1 Bioquímica da ureia (CO(NH ₂) ₂) no solo	20
2.3.2 Bioquímica da urease	21
2.3.3 Bioquímica da volatilização	22
2.3.4 Bioquímica do amônio (NH ₄)	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Amostragem do solo	24
3.2 Análise estatística	29
3.3 Ensaio bioquímico de urease no solo	29
3.4 Ensaio de NH ₄ da amostra	31
3.5 Determinação do pH das amostras	33
3.6 Ensaio de volatilização de N-NH ₃	34
4. RESULTADOS	36
4.1 Atividade da urease no solo	36
4.2 Variação da concentração de amônio (NH ₄) no solo	40
4.3 Valores de pH do solo nos ensaios	44
4.4 Ensaio de volatilização de N-NH ₃	47
5. DISCUSSÃO	50
6. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXO A- Valores das leituras da urease (µg NH ₄ /g/h) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.	67

ANEXO B- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.	68
ANEXO C- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.	69
ANEXO D- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.	70
ANEXO E- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.	71
ANEXO F- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.	72
ANEXO G- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.	73
ANEXO H- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.	74
ANEXO I- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.	74
ANEXO J- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.	76
ANEXO K- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.	77
ANEXO L- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.	78
ANEXO M- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.	79
ANEXO N- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.	80
ANEXO O- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.	81
ANEXO P- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.	82
ANEXO Q- Valores da volatilização de N-NH ₃ ($\text{mg N-NH}_3 \text{ kg}^{-1}$ de solo dia ⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 20 °C.	82
ANEXO Q- Valores da volatilização de N-NH ₃ ($\text{mg N-NH}_3 \text{ kg}^{-1}$ de solo dia ⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 20 °C (Continuação).	84

ANEXO R- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 25 °C. 85

ANEXO R- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 25 °C (Continuação). 86

ANEXO S- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 30 °C. 87

ANEXO S- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 30 °C (Continuação). 88

ANEXO T- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 35 °C. 89

ANEXO T- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 35 °C (Continuação). 90

1. INTRODUÇÃO

A ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) é o fertilizante mineral nitrogenado de uso dominante no país pois é, atualmente, a fonte mais econômica e eficiente de nutrição vegetal, se manejada adequadamente. Constituindo-se de 46% de nitrogênio (N) é recomendada para todos os tipos de solos (DHALIWAL et al., 2021; PIMENTEL et al., 2021). No entanto, as perdas de N recorrentes ao seu uso é um dos principais problemas na agricultura, elevando os custos de produção agrícola.

Em virtude da aplicação de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ no solo ocorre o processo de hidrólise pela enzima urease que, em contato com a superfície dos colóides do solo, realiza modificações químicas resultando na conversão em amônio (NH_4) e íons hidroxila (OH) no campo (GAO et al., 2020). O estoque desses elementos na superfície do terreno promove a formação de amônia (NH_3) e do NH_4 que é convertido em nitrato (NO_3) (ADHIKARI et al., 2021).

A volatilização da NH_3 e a lixiviação do NO_3 são responsáveis pelas principais perdas de N do solo, correspondendo a 10–60% e 16–41% do total de suas entradas (MARTIKAINEN, 1985; PHILIPPOT et al., 2007). A quantidade de perdas em cada forma é dependente dos fatores regulatórios, tais como pH, umidade, temperatura, potencial redox e tipo de solo, incluindo a textura e a mineralogia (GAO et al., 2020).

A produção de hidroxilas aumenta significativamente o pH do solo ao redor dos locais de grânulos de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, especialmente para solos arenosos com baixa capacidade de tamponamento de pH, dado possuírem baixo teor de argila (CHIEN et al., 2011). A volatilização da NH_3 está diretamente relacionada ao teor de umidade do solo, por estimular a atividade microbiana e suas funções (THILAKARATHNA et al., 2021). Matczuk et al., (2021) afirmam que a quantidade de NH_3 liberada aumenta proporcionalmente com a temperatura pela desnaturação da urease.

A estrutura do solo está diretamente interligada ao arranjo da dimensão das suas partículas e disso derivam distintas características de retenção de água, influenciando a atividade de micro-organismos. Os solos de textura argilosa possuem poros mais finos o que leva a uma menor permeabilidade ao ar e a uma maior capacidade de retenção e preservação da umidade pela ação da capilaridade. Já os solos de textura arenosa são mais dependentes de

espaços maiores, o que indica particularidades contrárias à conservação da umidade (RAVINDRAN et al., 2022).

Mekonnen et al. (2021) estimaram que os microrganismos aptos à hidrolisar a $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ constituíam entre 17 e 30% dos micro-organismos aerofílicos, microaerófilos e anaeróbios isolados de suas amostras de solo. Independentemente do tipo de micro-organismos existentes nos campos de textura argilosa ou arenosa, haverá a síntese da urease pois essa é uma enzima naturalmente presente no solo.

As diferenças nas propriedades entre os vários tipos de solo podem levar a variadas eficiências dos fertilizantes nitrogenados. No estudo relatado aqui, um ensaio de incubação laboratorial foi realizado para determinar a sensibilidade da volatilização da NH_3 e a dinâmica da bioquímica da hidrólise causada pela urease, diante de diferentes temperaturas, concentrações de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e tipos de solos.

1.1 Objetivo geral

Levando em consideração os fatos acima relatados, este trabalho tem como objetivo geral analisar a sensibilidade à temperatura da volatilização da NH_3 e da enzima urease em dois tipos de solo enriquecidos com diferentes doses de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Constatar os picos máximos de urease nos dois tipos de solo considerando o tempo e a variação de temperatura;

1.2.2 Constatar o pico de liberação de NH_4 nos dois tipos de solo considerando o tempo e a variação de temperatura;

1.2.3 Constatar os índices de pH com diferentes doses de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e com variação de temperatura nos dois tipos de solo;

1.2.4 Constatar o tempo de alcance do pico de volatilização da NH_3 para os dois tipos de solo.

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Nitrogênio (N)

O nitrogênio é um componente essencial para todos os organismos vivos pois se trata de um elemento do crescimento da vida no planeta, devido a sua participação em importantes processos fisiológicos e bioquímicos. O elemento faz parte das biomoléculas fundamentais de células como aminoácidos, proteínas e nucleotídeos, além de importantes constituintes celulares vegetais como clorofila, membranas e diversos hormônios vegetais (BOUGUYON et al., 2012).

Os maiores estoques de N no planeta Terra se encontram na litosfera ($1,0 \times 10^{23}$ g de N) e atmosfera ($3,9 \times 10^{21}$ g de N) (PAUL, 2007). No entanto, o conteúdo da atmosfera, que corresponde a 78% da constituição dos gases, é o estoque que contribui anualmente para entrada de N nos ecossistemas terrestres, aquáticos e oceânicos, devido ao ciclo biogeoquímico do N. Dessa maneira, a atmosfera passa a representar o reservatório de nitrogênio para a natureza e pode atingir cerca de 82 mil toneladas no ar que circunda 1 ha (RAO, 2007).

Apesar deste estoque na atmosfera, sua fórmula química N_2 não é aproveitável pelas plantas já que essa estrutura é pouco reativa, sendo por elas assimilada nas formas de NH_4 e nitrato (NO_3), além de outros compostos como $CO(NH_2)_2$, aminoácidos, peptídeos solúveis e formas complexas insolúveis.

De maneira geral, é possível haver a predominância de NO_3 em solos tropicais onde há o acúmulo de NH_4 , mesmo em solos aerados (MAIA et al., 2018; PUTRI et al., 2021). Há também o suprimento desse elemento químico em sua condição mais estável que é o NO_3 que se dá por oxidação de ânions nitrito (NO_2) de materiais residuais que liberam NH_4 , como é o caso da $CO(NH_2)_2$ (GAYEN et al., 2021; PUTRI et al., 2021).

A compreensão do ciclo do N e dos fatores que interferem no mesmo e nos processos de transformação em formas assimiláveis, bem como as reações bioquímicas, são de suma importância para os estudos de nutrição de plantas (GAYEN et al., 2021). Para que haja a adição de N no solo ocorre o processo de fertilização. Entretanto, podem ocorrer muitas perdas devido às ações antrópicas como, por exemplo, modificações no uso do solo, acúmulo de compostos sulfurados e invasão de espécies exóticas (BEBBER, 2021; PAYNE et al., 2011; 2012). Além

disso, essas ações podem gerar problemas ambientais severos e interferir diretamente no ciclo de renovação natural dos compostos biológicos existentes, gerando compostos tóxicos e que contribuem para degradação ambiental e para mudanças climáticas (MAIA et al., 2018).

Segundo Fowler et al. (2013), as atividades antrópicas têm alterado drasticamente o ciclo biogeoquímico do N uma vez que o ciclo é composto por complexas transformações químicas e bioquímicas sucessivas onde o N consegue retornar à atmosfera na forma molecular. Devido a sua complexidade, o conhecimento sobre tal ciclo pode gerar melhoria nos ecossistemas agrícolas para produtividade e sustentabilidade e atenuar os problemas ambientais (DOMINCHIN et al., 2021). Como consequência das ações antrópicas relacionadas à adubação nitrogenada, ocorrem deposições que, por sua vez, originam problemas ambientais como respostas dos ecossistemas a esse elemento químico. De acordo com Bebbber (2021), ocorrem impactos drásticos sobre os microrganismos do solo, nas plantas e nos níveis tróficos superiores.

Dentre os problemas ambientais, o aumento da temperatura causa distúrbios nos ciclos biológicos fazendo com que ocorram perdas por volatilização. Segundo Chatterjee (2020), a temperatura do solo é capaz de gerar ou diminuir a perda do N gasoso nos fluxos de óxido nitroso (N_2O) e NH_3 . De acordo com Chen et al. (2020), dependendo do tipo de fertilizante utilizado, como nitrato de amônio (NH_4NO_3) ou $CO(NH_2)_2$, pode haver aumento ou perda de NO_3 em relação à camada do solo. Ainda para os pesquisadores, em uma faixa de temperatura de 5 a 20 °C pode haver até 2,3 vezes menos NO_3 quando fertilizado com $CO(NH_2)_2$ do que com o NH_4NO_3 na camada de 0 a 15 cm de solo, embora com o aumento da temperatura haja aumento na camada de 0 a 30 cm.

2.2 Solo

De acordo com Gondal et al. (2021) o solo é o componente essencial dos sistemas de suporte à vida porque fornece vários bens e serviços que têm impactos positivos ou negativos no bem-estar humano como regulação da água, preservação de carbono, produção de alimentos e fertilidade.

O solo é uma das bases para a existência da vida na Terra. Em se tratando da agricultura, o solo não apenas permite a sustentação dos diferentes ecossistemas como também oportuniza

condições importantes para a reprodução de vegetais tornando-se, assim, fundamental para a sobrevivência dos seres vivos (DELGADO et al., 2017).

O solo afeta direta e indiretamente a produtividade agrícola, a qualidade da água e o clima global por meio de sua função no crescimento das plantas e como regulador do fluxo da água e da ciclagem de nutrientes (ROBSON et al., 1983). As adições de nutrientes melhoram significativamente as propriedades químicas e biológicas do solo, aumentando o número e a diversidade de microrganismos, bem como o número de enzimas secretadas (XU et al., 2021).

A microbiota do solo exerce funções na decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e outras funções relevantes (BASTIDA et al., 2006). As comunidades microbianas produzem enzimas ativas que estão relacionadas à fertilidade do solo e à produtividade agrícola (DEMPSTER et al., 2011; WANG et al., 2009). Os microrganismos ureolíticos utilizam a $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ como fonte de N através da atividade da enzima urease que converte essa fonte nitrogenada em NH_3 (RUTHERFORD, 2014), onde aplicações em maiores quantidades de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ aumenta a atividade de urease (DOMINCHIN et al., 2021).

Os organismos ureolíticos também demonstram mecanismos de biomineralização com vários metais pesados e oligoelementos, auxiliando na despoluição por metais pesados no solo e na água, minimizando prejuízos à sua toxicidade no ecossistema e a persistência no meio (CHEN et al., 2021; ELTARAHONY et al., 2021). Apesar da aplicabilidade da biomineralização utilizando o metabolismo dos organismos na condição de ser capaz de degradar a molécula de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, este composto possui influência negativa causando perdas à produtividade agrícola.

2.3 Ações bioquímicas

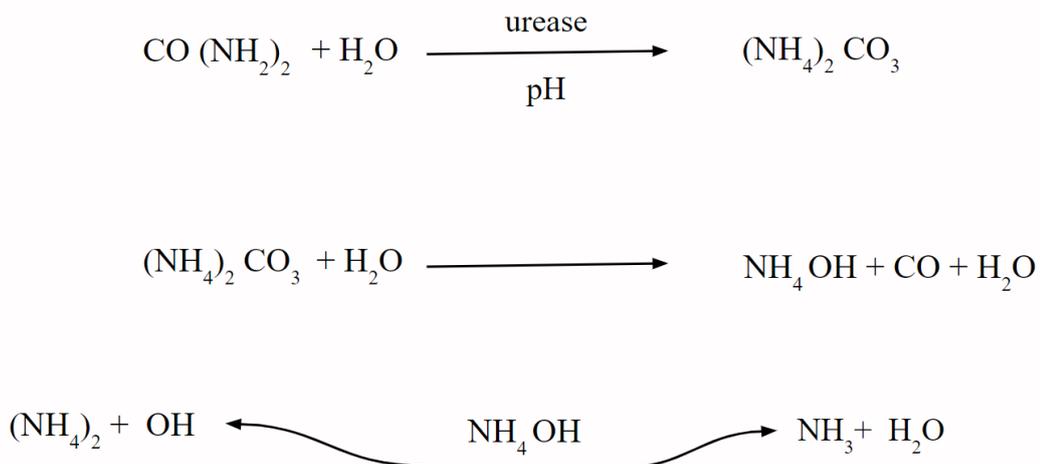
Para fins desse trabalho, entendem-se ações bioquímicas como processos biogeoquímicos que modificam a energia advinda do biosistema, em compostos químicos, pelos seres vivos e produtos da sua atividade (ZAVARZIN, 2008). Tais processos são possíveis de serem controlados por interações complexas entre ações antrópicas e o meio ambiente (KAYE et al., 2006).

2.3.1 Bioquímica da ureia (CO(NH₂)₂) no solo

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado de maneira global por seu alto teor de N, embora não seja baixo o custo da utilização dos fertilizantes nitrogenados devido ao elevado consumo de energia pelo processo Haber-Bosh. O custo do seu uso é menor quando comparado com outras fontes, como é o caso do sulfato de amônio e nitratos, por exemplo (NI et al., 2009). No entanto, a perda devido à NH₃ pode representar até 50% da CO(NH₂)₂ aplicada (CHEN et al., 2008; NI et al., 2014; SOUZA et al., 2021).

Nos solos, a CO(NH₂)₂ é rapidamente hidrolisada através da enzima urease para NH₄ (BOZAL-LEORRI et al., 2021). Nessa reação prótons são consumidos, o que aumenta o pH do solo ao redor da granulosfera da CO(NH₂)₂ (COLETO et al., 2020; ERNST et al., 1960). Esta reação está descrita de forma simplificada na Fig. 1.

Figura 1. Reação simplificada da decomposição da CO(NH₂)₂.



Fonte: Próprio autor.

Globalmente, estima-se que cerca de 10-19% do N aplicado na forma de CO(NH₂)₂ é perdido por volatilização de NH₃ (MA et al., 2020). Contudo, essas perdas podem atingir valores de aproximadamente 30% dependendo das condições, principalmente em solos com altas temperaturas e/ou pH elevado (CARVALHO et al., 2021). Por exemplo, vários estudos de campo no Brasil relataram perdas médias de 20-30% do N aplicado, mas essas perdas podem

ser tão altas como 60% (DEGASPARI et al., 2020). A quantidade de perda depende do tipo do solo, do pH, da capacidade de tamponamento, da temperatura e do teor de umidade da área de plantio e pode ser aumentada pela presença de resíduos vegetais, como no caso do plantio direto, que aumentam a atividade da urease nos solos (SOARES et al., 2020).

Dentre as medidas para minimizar perdas de N, a incorporação de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ no solo realizada por maquinários específicos é a mais viável economicamente (CARVALHO et al., 2021). Vale destacar que além da maneira de incorporação por maquinários, há a incorporação do fertilizante naturalmente pela precipitação pluviométrica. Há também tecnologias como inibidores de urease e de nitrificação ou suas combinações que são projetadas para retardar e reduzir a volatilização de NH_3 ou o uso de adaptações tecnológicas de fontes comerciais de nutrientes, como fertilizantes de liberação lenta (ESPINDULA et al., 2020; LI et al., 2021).

2.3.2 Bioquímica da urease

A urease é uma enzima envolvida na degradação da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (CORDERO et al., 2019). Os estudos sobre a urease microbiana ganharam destaque quando pesquisadores perceberam a capacidade que os microrganismos têm de induzir a precipitação de carbonato (CO_3) na presença de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (MORTENSEN et al., 2011). Esse fato se deve a capacidade da urease de transformar uma molécula de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ não carregada em dois íons carregados NH_3 e CO_3 , conforme Fig. 1 acima. Quando ocorre a hidrólise da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ocorre a elevação do pH de maneira que acontece a precipitação do CO_3 (CUZMAN et al., 2015).

A urease microbiana pode existir em dois estados no solo: pode ocorrer intracelularmente, quando associada diretamente a micro-organismos ureolíticos, ou extracelularmente, após ser secretada das células. Micro-organismos produtores de urease são de particular interesse para a produção de bioenzimas e são conhecidos por produzir outras enzimas do solo que levam à estabilização de argilas expansivas e propiciam a floculação dos minerais argilosos (MEKONNEN et al., 2021). Sua atividade é amplamente sintetizada pela ação de plantas, algas, fungos e bactérias que catalisam a hidrólise da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (MEKONNEN et al., 2021).

2.3.3 Bioquímica da volatilização

A ureia aplicada ao solo na forma de fertilizante ou depositada pela urina de animais, geralmente, é rapidamente hidrolisada em carbonato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) que, por sua vez, se decompõe em dióxido de carbono (CO_2) e NH_4 (GAGNON et al., 2019). A reação de hidrólise, catalisada pela enzima urease, é dependente da temperatura (KROL et al., 2020). A NH_3 gasosa emitida para a atmosfera entra em um ciclo de transformações químicas que podem causar efeitos negativos no solo e nos ambientes aquáticos e degradação de ecossistemas suscetíveis (DAWAR et al., 2021).

Sob condições alcalinas NH_4 é convertido em NH_3 que é então volatilizada. A perda potencial de $\text{N-CO}(\text{NH}_2)_2$ por volatilização é regulada por fatores ambientais, como os já mencionados temperatura do solo, teor de água, pH e a presença de NH_3 livre próximo à superfície do solo (SWELUM et al., 2021). A hidrólise da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ abaixo da superfície do solo favorece a conversão de NH_3 em NH_4 que se liga às partículas do solo (ZENAWI et al., 2019). Em solos altamente porosos, a $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ pode descer pelo perfil e ser perdida por soterramento (GAMAGE et al., 2021).

A amônia é uma fonte secundária de óxido nitroso (N_2O). Sendo assim, é indiretamente responsável pelo aquecimento global e pela destruição da camada de ozônio na estratosfera (MAKOWSKI, 2019). O N_2O é um gás de efeito estufa (GEE) de alto potencial de aquecimento global (ERISMAN et al., 2009). Além disso, após a aplicação do fertilizante no solo inicia-se a hidrólise da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, que resulta também na emissão de CO_2 , principalmente quando são utilizadas altas doses de fertilizantes nitrogenados (VAN DAMME et al., 2021).

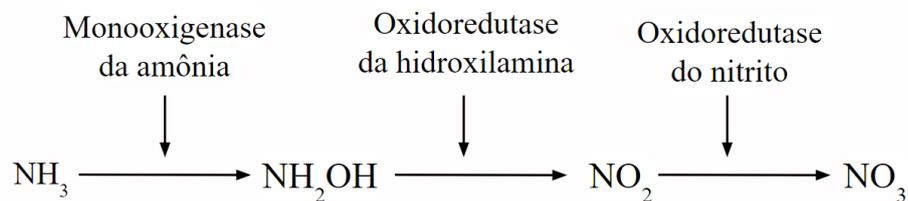
2.3.4 Bioquímica do amônio (NH_4)

Sendo um composto que propicia a rápida liberação de N facilitando a sua assimilação, a $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ é um fertilizante amplamente utilizado na agricultura em todo o mundo (SHETTY et al., 2019). Quando ocorre a decomposição da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, pela ação da urease acontece também a formação de N_2O que atua como um potente agente de efeito estufa na atmosfera (HAN et al., 2021). O N_2O é um fator chave nos processos químicos atmosféricos e atua como um dos elementos que participam na destruição da camada de ozônio (FOWLER et al., 2009).

Diferentes processos microbianos de transformação de N contribuem para a formação de N_2O sendo que as principais fontes nos solos são nitrificação e desnitrificação microbiana (BLAGODATSKAYA et al., 2014).

A nitrificação é a oxidação em duas etapas do NH_4 em NO_3 via NO_2 . O processo é realizado por bactérias e arqueobactérias oxidantes de NH_3 quimiolitotróficos e oxidantes de NO_2 (SAKOULA et al., 2021). Os micro-organismos oxidam através do intermediário hidroxilamina (NH_2OH). A enzima chave deste processo é a monooxigenase da amônia (AMO) codificada pelo gene *amoA*. Durante a oxidação da NH_3 , N_2O pode ser formado pela decomposição química de NH_2OH (ZHENG et al., 2022). Este processo químico está representado na Fig. 2.

Figura 2. Esquema simplificado do processo de nitrificação.



Fonte: Próprio autor.

A desnitrificação é a redução gradual de NO_3 ou NO_2 a N_2 através dos intermediários NO e N_2O . Em contraste com a nitrificação, N_2O é um intermediário obrigatório de desnitrificação. Durante a desnitrificação, os micro-organismos redutores de nitrato o reduzem a nitrito e a óxido nítrico (NO). A etapa posterior é catalisada pela nitrito redutase codificada pelos genes *nirS* ou *nirK*. Os redutores de óxido nítrico convertem NO em N_2O que pode ser o produto final da desnitrificação ou ainda ser reduzido a N_2 sob condições de desnitrificação completa. A redução de N_2O para N_2 é catalisada pela enzima óxido nitroso redutase codificada pelo gene *nosZ* em bactérias redutoras de N_2O (KUYPERS et al., 2018). Este processo químico está representado na Fig. 3.

Figura 4. Localização das áreas experimentais no município de Uberaba, Estado de Minas Gerais, Brasil.



latitude 19°16' 25,78" S e longitude 47° 55' 10,06".



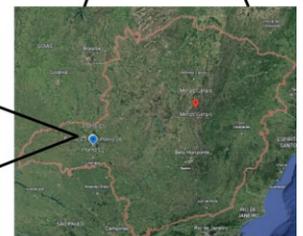
latitude -19°13' 03,360', longitude -47° 54' 05,879".



Mapa do Brasil



Mapa de Uberaba



Mapa de Minas Gerais

Fonte: Próprio autor.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos por textura e por concentrações de ureia (doses).

Tratamento	Solo	Concentração de ureia em pó (g)
T ₁	Argiloso/ ¹	0,00
T ₂	Argiloso	0,25
T ₃	Argiloso	0,50
T ₄	Arenoso/ ²	0,00
T ₅	Arenoso	0,25
T ₆	Arenoso	0,50

Fonte: Próprio autor. ^{1/2} Tratamento controle, sem a adição de ureia.

As amostras dos solos foram coletadas nas profundidades de 0 a 10 cm, com enxada, e os pontos de coleta foram determinados por caminhamento aleatório. Buscou-se evitar locais em que havia a presença de resíduos de calcário e, também, ao lado de estradas, de formigueiros e de cupinzeiros, bem como a época de início das chuvas em áreas de pousio.

O solo na propriedade onde foi coletada a amostra argilosa apresentou cultivos anteriores ao pousio, com duas culturas: soja seguida de milho. A área em que foram coletadas as amostras de solo arenoso é local de pastagem e não há histórico de cultivos agrícolas.

As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm. Após esse processo, as amostras foram mantidas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório, onde foram conservadas a 24 °C para a preservação biológica do material. Na sequência, o material seguiu para a realização das análises. Porções dos materiais secos foram usadas para a caracterização físico-química e para a respiração basal das amostras pelo dióxido de carbono (CO₂) total produzido pelas atividades fisiológicas dos micro-organismos na degradação de material orgânico do solo. A metodologia utilizada foi adaptada de Mendonça et al. (2005). A utilização de tal método permitiu determinar a diferença entre as texturas de solo para o acúmulo de C-CO₂ (Tabela 2). Os resultados físico-químicos apresentados na Tabela 2 foram obtidos através de análise realizadas pelo Laboratório de Análise de Solos e Calcários - LABAS/UFU, exceto a respiração basal estabelecida pela emissão acumulada de CO₂ que foi calculada pelo autor.

Tabela 2. Caracterização físico-química e respiração basal estabelecida pela emissão acumulada de CO₂, no decorrer de 21 dias dos solos.

Caracterização	Solo argiloso	Solo arenoso
Areia grossa (g Kg ⁻¹)	240	364
Areia fina (g Kg ⁻¹)	264	410
Silte (g Kg ⁻¹)	199	86
Argila (g Kg ⁻¹)	297	140
pH	7,1	6,7
P (mg/dm ³)	14,29	4,80
K (mg/dm ³)	218,60	35,85
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	7,55	2,79
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	3,40	3,05
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,00	0,00
H ⁺ Al (cmol _c /dm ³)	2,02	2,41
SB (cmol _c /dm ³)	11,54	5,90
t (cmol _c /dm ³)	11,54	5,90
T (cmol _c /dm ³)	13,56	8,31
C-org (g Kg ⁻¹)	23,3	10,7
V (%)	85,09	70,97
m (%)	0,00	0,00
S (mg/dm ³)	23,70	31,20
B (mg/dm ³)	0,38	0,07
Zn (mg/dm ³)	76,26	4,05
Cu (mg/dm ³)	0,48	0,48
Mn (mg/dm ³)	27,03	10,88
Fe (mg/dm ³)	11,24	84,44
MO (g Kg ⁻¹)	40,0	18,4
Ca/Mg	2,2	0,54
Ca/K	0,05	0,10
Mg/K	0,0	0,45
Dioxido de carbono (mg 100 g de solo ⁻¹)	144,98	51,70

Fonte: Próprio autor.

P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu Extrator Mehlich⁻¹; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (Extrator KCl 1,0 mol/L); H⁺Al (acidez potencial); t: capacidade de troca catiônica efetiva (t=SB+Al); T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; SB: soma de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na); m: saturação de Al³⁺ na CTC efetiva (m = 100 Al/t); V: saturação por bases na CTC potencial (V = 100 SB/T); MO (Matéria Orgânica: Método Colorimétrico); S: fosfato monocalcico.

O conteúdo de umidade das amostras foi ajustado para 40% da capacidade de retenção de água. Ressalta-se que tal percentual foi escolhido porque permitiu a manipulação mais adequada das amostras uma vez que maior umidade criaria empecilhos como o surgimento de lama. Houve a determinação do índice da umidade relativa do solo para, em seguida, realizar-se a caracterização da capacidade de campo. A indicação do índice da umidade relativa das amostras foi realizada pela metodologia de secagem via radiação eletromagnética, com o auxílio do forno de micro-ondas convencional, marca LG, modelo MS3091BCA, frequência 60 Hz, potência 8, com 20 g das amostras secas e previamente peneiradas e colocadas em placas de petri de peso conhecido, durante 5 min.

Após a retirada do conjunto do forno, efetuou-se nova pesagem das partículas sólidas do solo. O teor de umidade relativa das amostras foi obtido pela diferença da massa de água presente na amostra de solo original em relação à massa de solo que sofreu a radiação eletromagnética, sendo definido em porcentagem (SANTOS, 2019).

A retenção de água foi estimada a partir da pesagem de 100 g das amostras secas, não expostas à radiação eletromagnética do forno, e dispostas em provetas constituídas por funil e papel filtro, este último posicionado no fundo do funil, com a adição de 100 mL de água destilada. A avaliação da retenção de água foi determinada pela adição lenta da água destilada nas provetas, aguardando o total escoamento da água dos solos para, logo depois, verificar a medição da solução drenada. Para o cálculo de retenção de água no solo (RA_{solo}) foi aplicada a fórmula seguinte:

$$RA_{sol} = \frac{AR (mL) \times 100\%}{V \text{ quanti da de sol no funil } (g) \times ARA(\%)}$$

Onde:

RA_{solo} : retenção de água em porcentagem de volume de solo seco;

AR: Água retida no solo, volume equivalente a 100 mL - volume coletado na proveta (mL);

V: Massa de solo no funil: 100 g;

ARA: Ajuste de retenção de água dos solos: 0,4

Resultando na quantidade de água destilada (mL), a ser acrescentada nas unidades amostrais, para que houvesse o ajuste da retenção de umidade dos solos a 40% (PEIXOTO, 2018).

3.2 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para as determinações quantitativas dos fatores e suas combinações, com a subsequente análise de média pelo teste de Tukey a 1% e 5% de significância, com a demonstração gráfica das análises realizadas com o software R versão 4.0.3. Vale notar que os gráficos foram plotados utilizando-se os valores das médias das repetições. Esses valores podem ser encontrados nos anexos.

A determinação da enzima urease, do NH_4 e do pH do solo, foi realizada em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de $3 \times 2 \times 4$, com três repetições, nas quais foram combinadas as quantidades 0; 2,5 e 5,0 mg/g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, com os solos e as temperaturas de incubação e projetando as correlações de cada combinação entre os fatores no decorrer de seis dias de avaliação.

A análise da volatilização da NH_3 foi feita em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de $2 \times 2 \times 4$, com quatro repetições, no qual o primeiro fator demonstra as quantidades de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ em 2,5 e 5,0 mg/g pois a perda da NH_3 por volatilização ocorre apenas na presença do substrato, o segundo apresenta os solos e o terceiro se refere às temperaturas em que o material foi incubado e delineando comparações de cada combinação entre os fatores no decorrer de dez dias.

A partir dos dados calculados e das características analisadas, quais sejam, a atividade enzimática da urease, o NH_4 , o pH do solo e a volatilização de N-NH_3 , são fornecidos os p-valores resultantes das ANOVAs. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias entre 1% e 5% de probabilidade, mostrando os desdobramentos dos fatores e as interações presentes na tabela inicial de cada característica analisada.

3.3 Ensaio bioquímico de urease no solo

A atividade da enzima urease foi determinada seguindo a metodologia de Cordero et al. (2019), com modificações, conforme dimensionamento mostrado na Fig. 5. Inicialmente, foi realizada a incubação da seguinte maneira: procedeu-se à divisão de subtratamentos, representados por 1 g de solo em tubos falcon de 50 mL, posteriormente denominados “substrato” e “controle”. Para o substrato foram inseridos 4 mL de tampão de citrato pH 6,7 +

1 mL de solução de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ a 10 % (proveniente da solução de 10 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ diluída em 100 mL de água destilada, num balão volumétrico da mesma capacidade em mL). Para o controle, foram introduzidos 5 mL de tampão de citrato pH 6,7, sem a adição do substrato. Os dois subtratamentos foram incubados juntos em banho-maria, na temperatura de 37°C , durante duas horas. Na sequência, aos subtratamentos contidos nos tubos falcon foram adicionados 25 mL de água destilada e ambos foram agitados uma vez no vortex por um tempo de 10 s. Posteriormente, a solução foi completada com mais 25 mL de água destilada totalizando 50 mL por tubo, e foi agitada novamente no vortex por mais 10 s, procedendo-se, a seguir, 10 min de decantação.

Uma alíquota de 2 mL do sobrenadante foi transferida para microtubos eppendorf e submetida a centrifugação a 5.000 rpm durante 5 min. Foram transferidos 500 μL do reagente I (composto por 0,48 g de salicilato de sódio, 0,15 g de nitroprussiato de sódio dihidratado e 25 g de ácido etileno diamino tetra acético (EDTA), dissolvidos em um balão volumétrico de 100 mL contendo 50 mL de água destilada e posteriormente foi completado o volume). Foram coletados 300 μL da amostra do solo e 500 μL do reagente II (composto por 0,75 g de hidróxido de sódio dissolvido em 50 mL de água destilada em um balão volumétrico de 100 mL e foram adicionados 4 mL de solução de hipoclorito de sódio (5%) e completado o volume do balão com água destilada).

Houve a elaboração de uma curva padrão para a realização da calibração do espectrofotômetro com os elementos químicos contendo concentrações estipuladas de cloreto de amônio (NH_4Cl) e cloreto de potássio (KCl), junto com 500 μL do reagente I, 300 μL da solução de $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KCl}$ e 500 μL do reagente II. Posteriormente, os microtubos foram agitados manualmente e a solução foi deixada em descanso por 20 min para reagir. A leitura da absorbância foi realizada a 600 nm em cubeta de 1 mL. Os resultados foram calculados a partir da curva-padrão sobre as diferenças de valores da urease entre os subtratamentos. Os dados verificados no controle podem ser observados nos anexos de A até D e os índices enzimáticos dos com substrato podem ser analisados nos anexos de E até H, ambos expressos em $\text{g NH}_4/\text{g/h}$.

Para a análise e comparação entre os subtratamentos foi empregada a fórmula a seguir:

$$\Delta = [(\text{Concentração de urease do subtratamento substrato } (\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}) - \text{Concentração de urease do subtratamento controle}) (\mu\text{g NH}_4/\text{g/h})/2].$$

Concentração de urease = Relação da umidade gravimétrica (%) x Concentração de urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$)

Os valores da relação da umidade gravimétrica (%) foram alcançados da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \text{Relação da umidade gravimétrica (\%)} \\ = \left(\frac{(1 + \left(\frac{(100 + \text{Vol umidade água a di c i ona})}{\text{massado sol sec \vartheta}} \right) \times 100)}{100} \right) \end{aligned}$$

No que diz respeito à concentração de urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) os dados foram alcançados assim:

$$\begin{aligned} \text{Concentração de urease } ((\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}) = (\text{ng NH}_4/\mu\text{L}) \times \text{quantidade final no tubo (mL)} \\ \times \text{fator de diluição} \times \text{tempo de incubação (horas)}. \end{aligned}$$

Quantidade final no microtubo falcon: 50 mL

Fator de diluição: variável dentre as unidades amostrais

Tempo de incubação: 2 horas

3.4 Ensaio de NH_4 da amostra

Para a determinação do NH_4 presente nas unidades amostrais foi utilizado o método adaptado de Buurman et al. (1996), de acordo com a disposição das parcelas amostrais representado na Fig. 5, com a inserção de 5 g da amostra de solo incubado, em frascos de 100 mL, com a adição de 50 mL de cloreto de potássio (KCl) na concentração de 1 mol.L^{-1} . Os frascos foram colocados em agitador orbital por 30 min a 180 rpm sendo que, após a agitação, a solução decantou por 30 min.

Foram retirados 300 μL da mistura e foram colocados em microtubos onde foram adicionados 500 μL do reagente I e 500 μL do reagente II. Os compostos com a ausência da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ foram centrifugados a 5000 rpm por 5 min e deixados por 20 min em repouso para que, após esse período, fosse realizada a extração de 300 μL da amostra e a inclusão nos microtubos com as concentrações de 500 μL do reagente I e 500 μL do reagente II e assim fosse

realizada a leitura a 600 nm em espectrofotômetro. As respostas foram medidas com base nos valores da curva-padrão e os dados obtidos podem ser vistos nos anexos de I até L, expressos em $\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ de solo seco (KAVVADIAS et al., 2018). Para o cálculo do NH_4 da amostra foi empregado o método a seguir:

$$\Delta = [(C \text{ oncentração de amônio } \alpha \text{ onti da amostra } (\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}) \times \text{umi da amostra } (\text{g}.\text{g}^{-1} \text{ H}_2\text{O})).$$

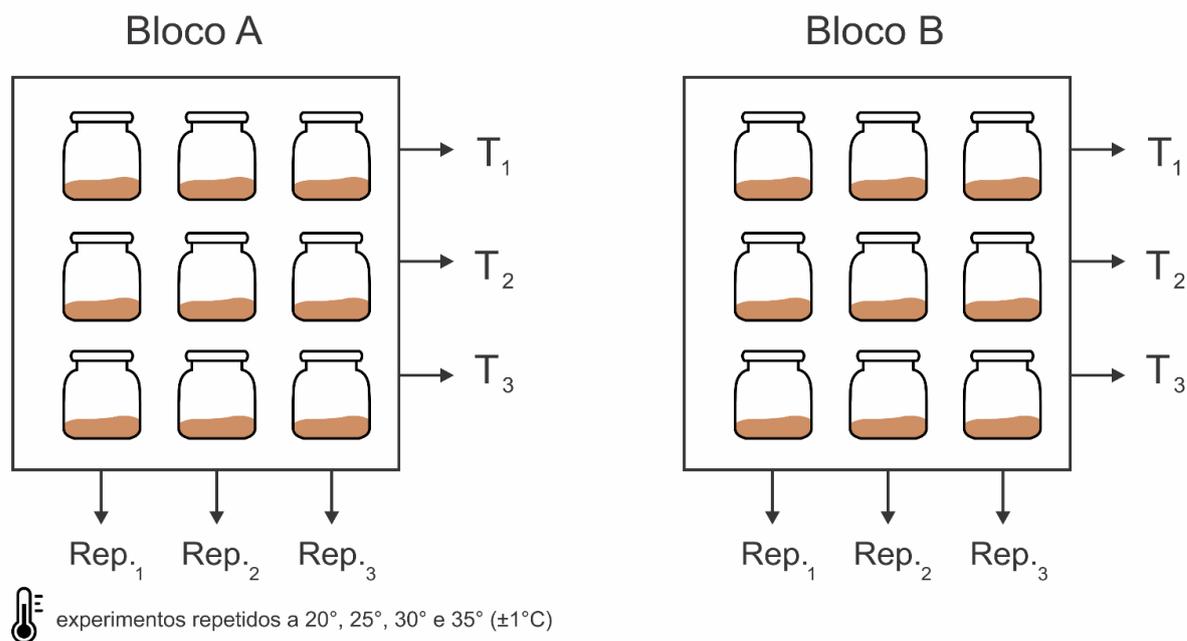
A concentração de amônio foi calculada da seguinte maneira:

$$C \text{ oncentração de amônio } = ((C \text{ oncentração de amônio } \alpha \text{ onti da amostra } (\mu\text{g NH}_4/\text{mL}) \times \text{vol amostra } (\text{mL})) \times \text{fator de diluição}) / \text{quantidade de solo } (\text{g}).$$

Por sua vez, a umidade presente ($\text{g}.\text{g}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) foi obtida desta forma:

$$\text{Umi da amostra } (\text{g}.\text{g}^{-1} \text{ H}_2\text{O}) = ((1 + (((100 + \text{Vol amostra } (\text{mL}) \times \text{fator de diluição}) / \text{massa do solo seco}) / \text{massa do solo úmido}) \times 100)) / 100).$$

Figura 5. Esquema da montagem do experimento para o ensaio do amônio presente nas amostras possuindo dois blocos, as doses de ureia e realizado em três repetições.



Fonte: Próprio autor.

Legenda dos tratamentos:

Bloco A: solo argiloso

Bloco B: solo arenoso

T₁: apenas o solo sem a adição de CO(NH₂)₂

T₂: solo com a adição de 0,25 g de CO(NH₂)₂ em pó

T₃: solo com a adição de 0,50 g de CO(NH₂)₂ em pó

3.5 Determinação do pH das amostras

O pH dos ensaios foi avaliado pela metodologia descrita por Adams et al. (1962) com alterações, segundo demonstrado na Fig. 5 acima. Foram preparadas 10 g da amostra de solo, em frascos de 50 mL, e foram adicionados 25 mL de água destilada. Em seguida, os frascos foram postos em agitador orbital por 30 min a 180 rpm. Após a agitação a solução decantou por

30 min. Em seguida, realizou-se a medição do pH com o auxílio do equipamento pHmetro, modelo pHmetro 3000 da marca GEHAKA. O medidor de pH foi calibrado antes do uso com as soluções tampão comerciais da mesma fabricante com pH de 4,01 Lote: 2007101013-01 e 7,01 Lote 2007291017-01. Os valores das unidades experimentais podem ser verificados nos anexos de M até P.

3.6 Ensaio de volatilização de N-NH₃

O ensaio de volatilização da NH₃ foi realizado em condições de laboratório, conforme representado na Fig. 6, com os tratamentos substrato e o branco, sem o tratamento controle.

A quantificação do N-NH₃ (g) foi adaptada das metodologias descritas por Kjeldahl (1883) e Bimuller et al. (2014). Para este ensaio foram utilizadas 100 g de solo úmido que foram colocadas em frascos de vidro de 500 mL com tampa de vedação hermética. Os diferentes tratamentos, juntamente com 10 mL de ácido bórico a 2%, foram adicionados nestes frascos. A amostra em branco foi constituída de frasco sem a porção de solo e contendo apenas o copo plástico com o ácido bórico.

A determinação da NH₃ volatilizada foi realizada pela titulação do excesso do ácido bórico com ácido sulfúrico (H₂SO₄, 0,025 mol L⁻¹) no período de dez dias, sendo a primeira avaliação realizada depois de 24 horas de incubação.

A NH₃ liberada foi calculada pela fórmula:

$$\text{NH}_3 : [(A - B) \times M_n \times M_{as}] / M_s \times 2$$

Onde:

NH₃: quantidade de NH₃ volatilizado do solo em mg NH₃ Kg⁻¹ de solo

A: volume de H₂SO₄ necessário para titular o excedente de ácido bórico da amostra

B: volume de H₂SO₄ necessário para titular o excedente de ácido bórico da prova em branco

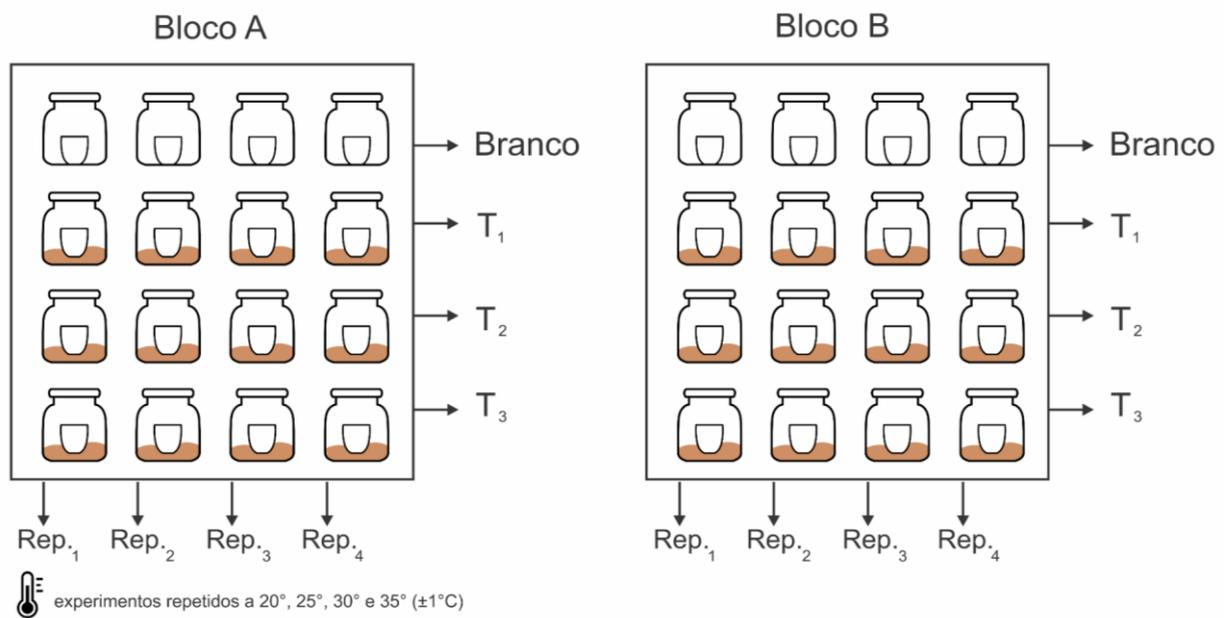
M_n: massa atômica dos elementos N + H₃ (14 + 3: 17)

M_{as}: massa molar da solução de H₂SO₄ (0,025 mol L⁻¹)

M_s: massa seca do solo incubado (em kg)

2 : proporcionalidade de massa na reação entre o NH₃ liberado e o consumo de ácido bórico

Figura 6. Esquema da montagem do experimento, para o ensaio de volatilização de N-NH_3 possuindo dois blocos, as doses de ureia e realizado em quatro repetições.



Fonte: Próprio autor.

Legenda dos tratamentos:

Bloco A: solo argiloso

Bloco B: solo arenoso

Branco: sem a porção do solo e de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

T₁: apenas o solo sem a adição de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

T₂: solo com a adição de 0,25 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ em pó

T₃: solo com a adição de 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ em pó

4. RESULTADOS

4.1 Atividade da urease no solo

Na Tabela 3, encontram-se os valores de significância da ANOVA para atividade de urease, utilizando as fontes de variação (FV): solo, temperatura, dose de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e as interações. Constatou-se que não houve efeito do solo na atividade da urease e seu desdobramento de interação (dupla e tripla) dependeu do tempo (dia) de avaliação. As análises revelam também que a temperatura e a dose afetaram a atividade de urease no solo, mostrando que a atividade de urease é afetada pela interação dose de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ x temperatura.

Tabela 3. Teste de significância, dos fatores e suas interações, no período de incubação, através do teste de p-valor para a atividade enzimática da urease.

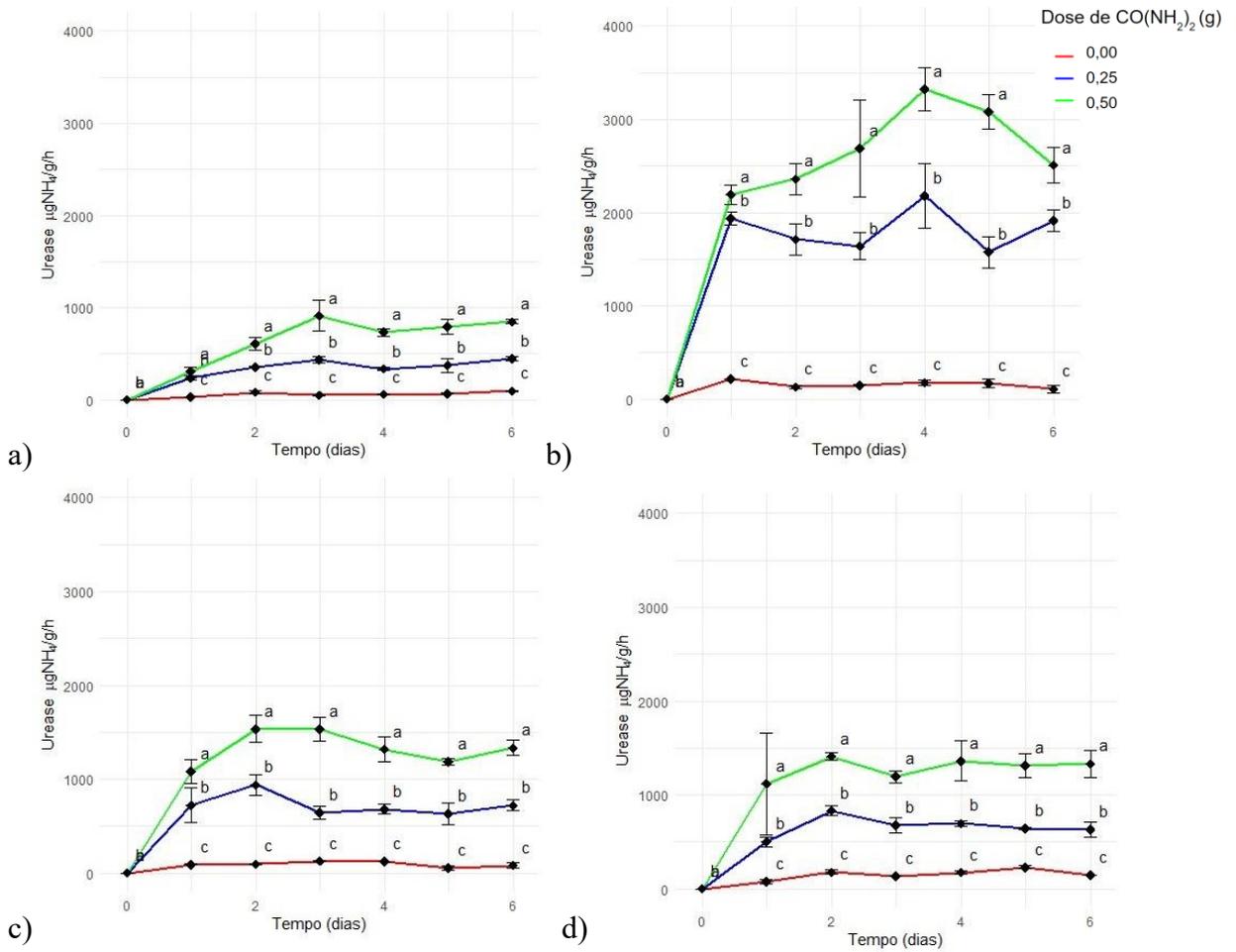
Fonte de variação	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
Solo	0,8566 ^{ns}	0,0667 ^{ns}	0,7974 ^{ns}	0,3366 ^{ns}	0,0372*	0,8161 ^{ns}
Temperatura	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Solo*Temperatura	0,0076**	0,3711 ^{ns}	0,6835 ^{ns}	0,0341*	0,0027**	0,8577 ^{ns}
Solo*Ureia	0,8631 ^{ns}	0,1479 ^{ns}	0,3037 ^{ns}	0,0000**	0,0000**	0,5424*
Temperatura*Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0024**	0,0000**
Solo*Temperatura* Ureia	0,3721 ^{ns}	0,0277*	0,8051 ^{ns}	0,0548 ^{ns}	0,0874 ^{ns}	0,0612 ^{ns}

Fonte: Próprio autor.

Em que, ^{ns} não significativo pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F.

Os dados revelaram que a atividade da urease respondeu de forma significativa à temperatura e às doses de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, sendo as respostas independentes do fator solo usado nos ensaios. Para ambos os solos, na condição de incubação a 25 °C (Fig. 7b e 8b) e com concentração a 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ observaram-se as maiores atividades da urease e a maior média inicial, havendo o pico máximo para as concentrações 0,25 e 0,50 g no quarto dia, e para o solo arenoso, ao quinto dia. As menores médias da atividade de urease foram encontradas na menor temperatura (Fig. 7a e 8a). As temperaturas de 30 e 35 °C promoveram uma resposta similar em relação à atividade de urease (Fig. 7c; 7d; 8c e 8d). Em todos os tratamentos, diferenças significativas entre as doses de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ foram observadas. Porém, as maiores diferenças foram encontradas na temperatura de 25 °C. Observa-se também que os maiores valores com o tempo de incubação dependem da temperatura (Figura 7 e 8).

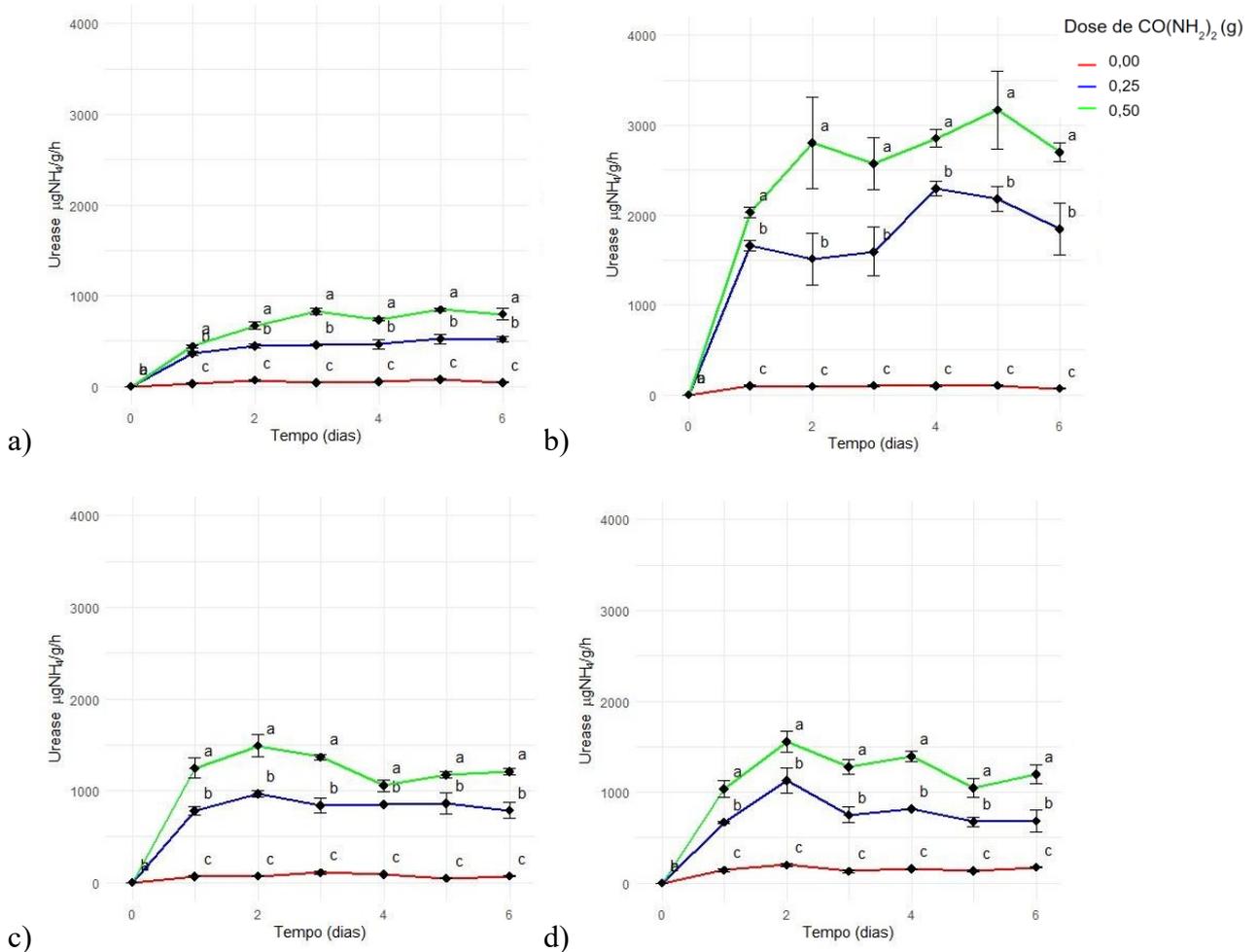
Figura 7. Atividade da enzima urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) após as aplicações de ureia sobre o solo argiloso durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.



Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3); Fig. 7a: incubação a 20 °C, Fig 7b: incubação a 25 °C, Fig. 7c: incubação a 30 °C, Fig. 8d: incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

Figura 8. Atividade da enzima urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$), após as aplicações de ureia sobre o solo arenoso durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.



Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral ($n=3$). Fig. 8a: incubação a 20 °C, Fig. 8b: incubação a 25 °C, Fig. 8c: incubação a 30 °C, Fig. 8d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

Os resultados permitem observar que para a dose de 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ocorreram dois picos máximos, o primeiro no segundo dia e o segundo no quinto dia de incubação.

4.2 Variação da concentração de amônio (NH₄) no solo

Os valores de significância da ANOVA para a concentração de amônio no solo são apresentados na Tabela 4. As concentrações de amônio no solo são dependentes das fontes de variação testadas na análise. No entanto, a significância estatística depende do tempo de avaliação. Em geral, as fontes de variação estudadas tiveram efeitos significativos ($p > 0,05$) sobre a formação de amônio no solo, exceto para interação solo*temperatura (dia 3 de incubação) e interação solo*temperatura*dose ureia (nos dias 3, 4 e 5 de incubação).

Tabela 4. Teste de significância dos fatores e suas interações no decorrer do período de incubação através do teste de p-valor para o amônio.

Fonte de variação	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
Solo	0,0429*	0,0000**	0,0001**	0,0000**	0,0000**	0,0011**
Temperatura	0,0000**	0,0000**	0,0172*	0,0026**	0,0000**	0,0001**
Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Solo*Temperatura	0,0000**	0,0002**	0,6153 ^{ns}	0,0063**	0,0089**	0,0016**
Solo*Ureia	0,0051**	0,0000**	0,0023**	0,0000**	0,0072**	0,0138*
Temperatura*Ureia	0,0000**	0,0000**	0,1076 ^{ns}	0,1962 ^{ns}	0,0024**	0,0001**
Solo*Temperatura*Ureia	0,0000**	0,0216*	0,4312 ^{ns}	0,0691 ^{ns}	0,1243 ^{ns}	0,0009**

Fonte: Próprio autor.

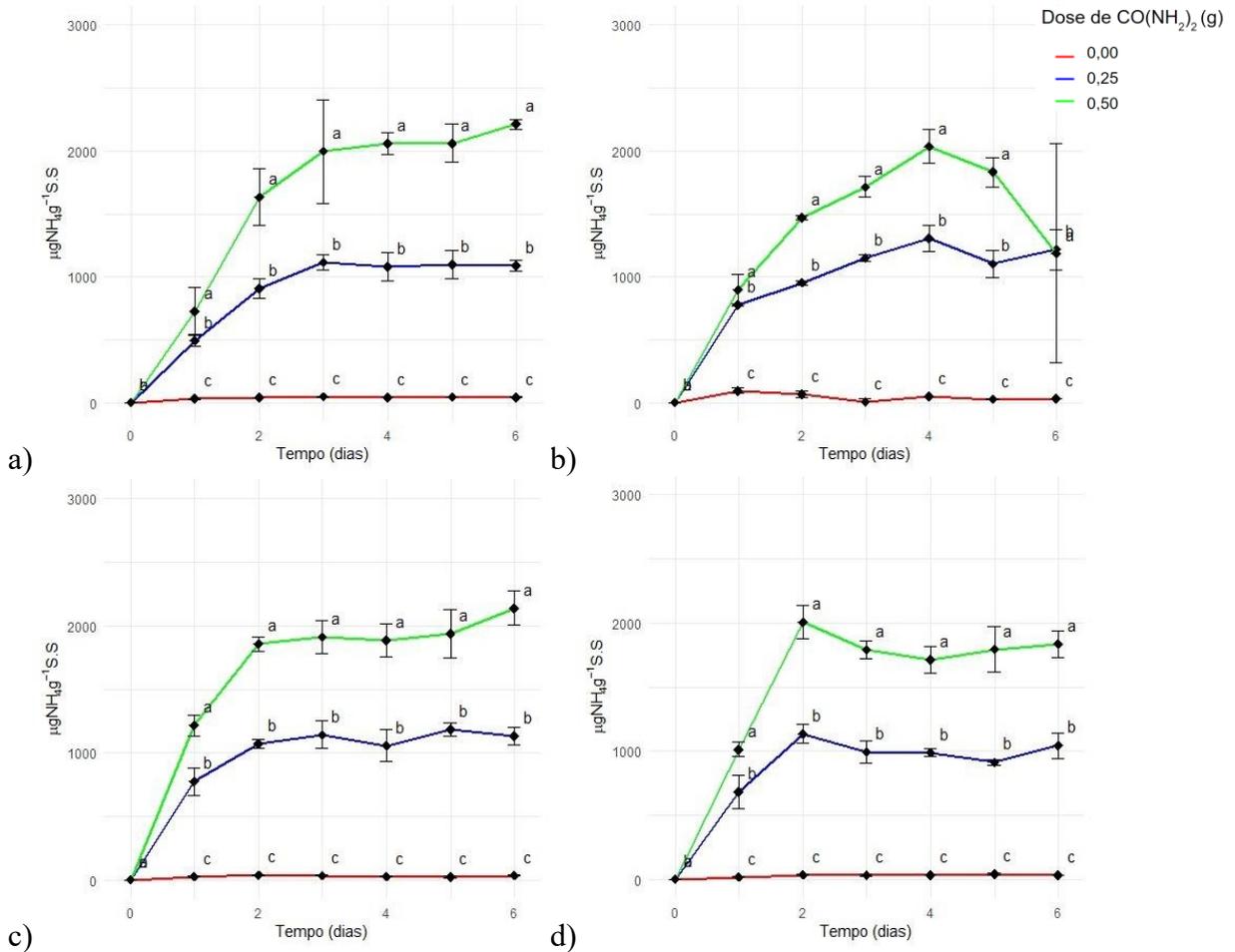
Em que, ^{ns} não significativo pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F.

Os dados expressam que o NH₄ foi influenciado de maneira significativa pelo solo, temperatura, doses de CO(NH₂)₂ e suas combinações. A concentração de NH₄ no solo foi influenciada pela adição do substrato no solo alcançando valores maiores de 2250 µg de NH₄ g⁻¹ de solo. Porém, os valores da concentração de NH₄ foram menores no solo arenoso (Fig.

10). Os resultados mostram que os picos dos valores da concentração de NH_4 são alterados com as temperaturas estudadas.

Na temperatura de 20 °C, (Fig. 9a e 10a) os maiores valores de concentração de NH_4 ocorreram aos 3 dias de incubação em ambos os solos avaliados. Sob condições de 25 °C (Fig. 9b e 10b), as maiores concentrações de NH_4 ocorreram aos 4 e 3 dias de incubação em solo argiloso e arenoso, respectivamente. Os maiores valores médios de NH_4 , nas temperaturas 30 e 35 °C (Fig. 9c; 9d; 10c e 10d), foram alcançados aos 2 dias de incubação, tendo os valores de NH_4 oscilado mais no solo de textura arenosa.

Figura 9. Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4\cdot\text{g}^{-1}$ solo seco) após as aplicações de ureia sobre o solo argiloso, durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.

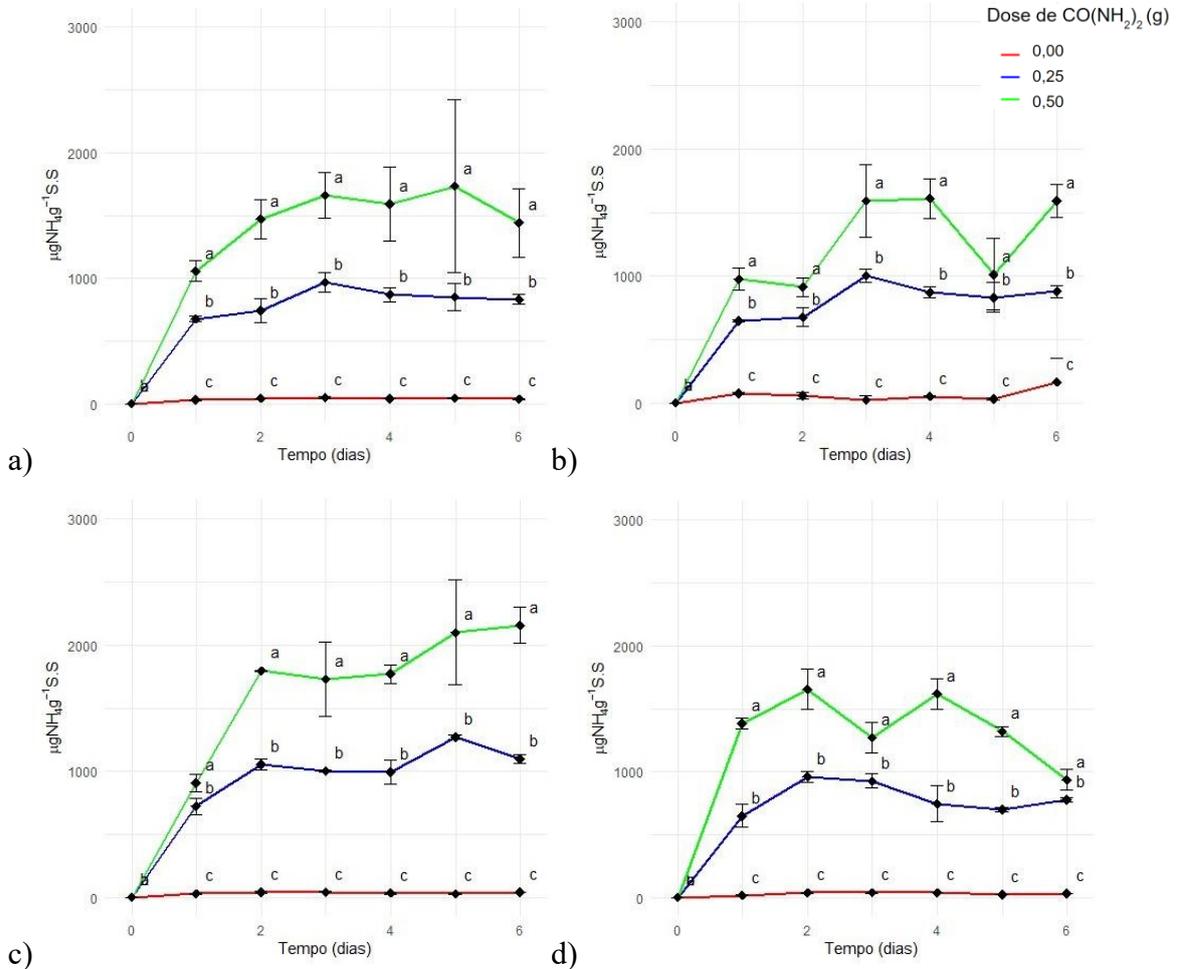


Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3). Fig. 9a: incubação a 20 °C, Fig. 9b: incubação a 25 °C, Fig. 9c: incubação a 30 °C, Fig. 9d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

No solo de textura argilosa, a condição de incubação a 20 °C (Fig. 9a) e com concentração a 0,50 g indicou maior liberação do NH_4 no ambiente no sexto dia de incubação. Para a concentração a 0,25 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ a 25 °C (Fig. 9b) o ápice ocorreu no quarto dia. Apesar das menores temperaturas trazerem as maiores liberações, existiu disponibilidade tardia de NH_4 perante as outras condições ambientais nas quais houve o desenvolvimento mais rápido deste íon nas situações a 30 °C (Fig. 9c) e a 35 °C (Fig. 9d).

Figura 10. Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4\cdot\text{g}^{-1}$ solo seco) após as aplicações de ureia sobre o solo arenoso, durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.



Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3). Fig. 10a: incubação a 20 °C, Fig. 10b: incubação a 25 °C, Fig. 10c: incubação a 30 °C, Fig. 10d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

O solo de textura arenosa expôs na situação a 30 °C (Fig. 10c) as maiores quantidades de NH_4 com 0,25 g e com 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Com 0,25 g o ápice ocorreu no quinto dia e com 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, no sexto dia. O progresso inicial do NH_4 no meio aconteceu para ambas as concentrações nas temperaturas de 30 °C (Fig. 10c) e 35 °C (Fig. 10d).

4.3 Valores de pH do solo nos ensaios

Os valores de pH do solo foram afetados pelas fontes de variação e tempo de incubação, como demonstrado pela ANOVA (Tabela 5). Embora os valores de pH do solo de textura argilosa tenham sido maiores do que de textura arenosa no tratamento controle, os valores foram similares no solo quanto das adições de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (Fig. 11 e 12). Com a adição do substrato, verificou-se aumento no pH dos solos, havendo oscilações nos valores dependendo do tempo de incubação. Os valores de pH no solo de textura arenosa foram um pouco menores nos tratamentos com adição do substrato em comparação ao solo de textura argilosa.

Tabela 5. Teste de significância dos fatores e suas interações no decorrer do tempo de incubação através do teste de p-valor para as leituras de pH.

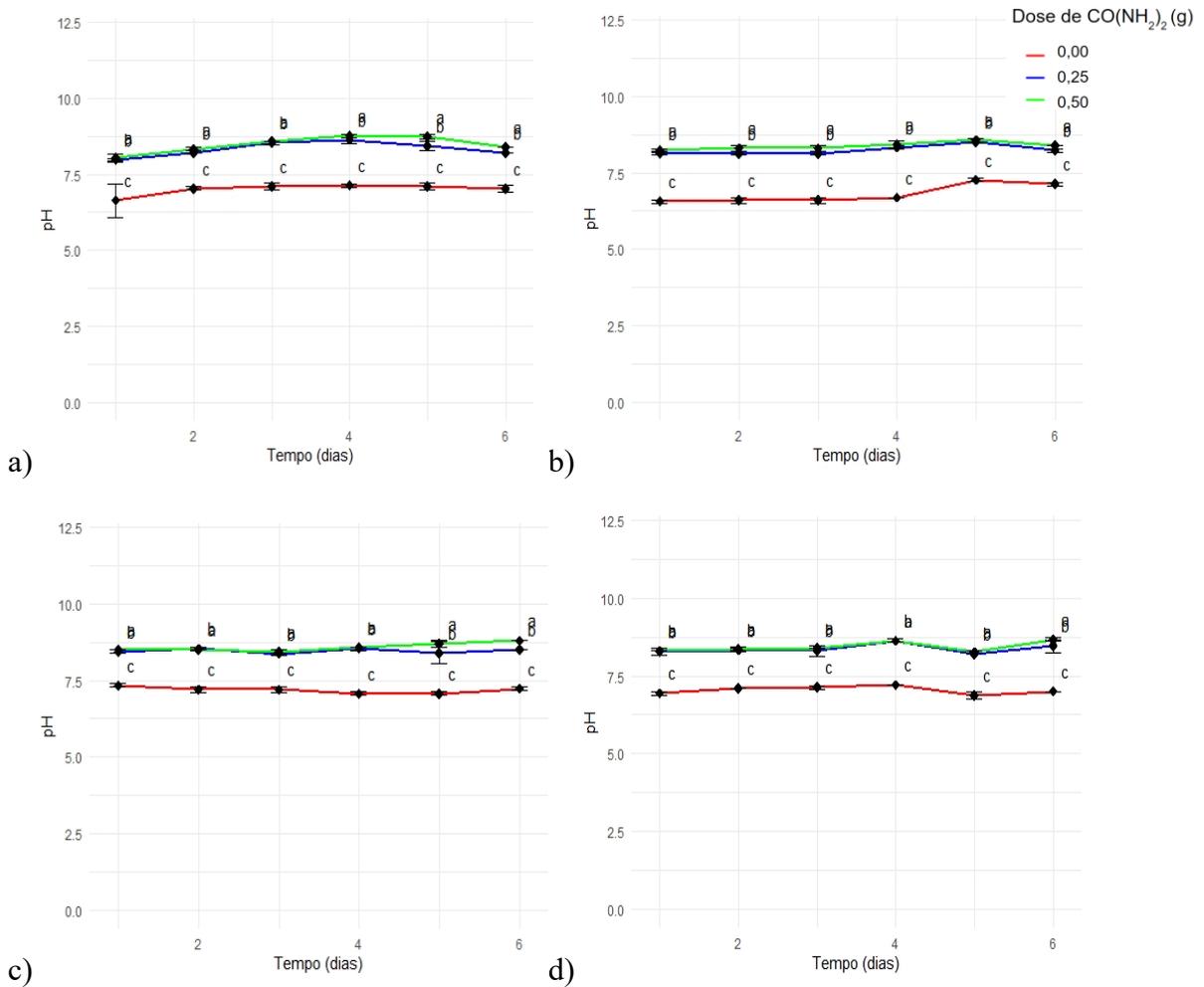
Fonte de variação	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
Solo	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Temperatura	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Solo*Temperatura	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0002**	0,0000**
Solo*Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Temperatura*Ureia	0,0185**	0,0000**	0,0016**	0,0000**	0,0381**	0,0000**
Solo*Temperatura* Ureia	0,0666 ^{ns}	0,1605 ^{ns}	0,0005**	0,0002 ^{ns}	0,2239 ^{ns}	0,0000**

Fonte: Próprio autor.

Em que, ^{ns} não significativo pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F.

As informações levantadas mostram que o fator pH foi influenciado de modo significativo tanto para os tipos de solo quanto para temperatura, dose de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e suas interações.

Figura 11. Efeito da aplicação de ureia sobre o pH no solo argiloso, durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.

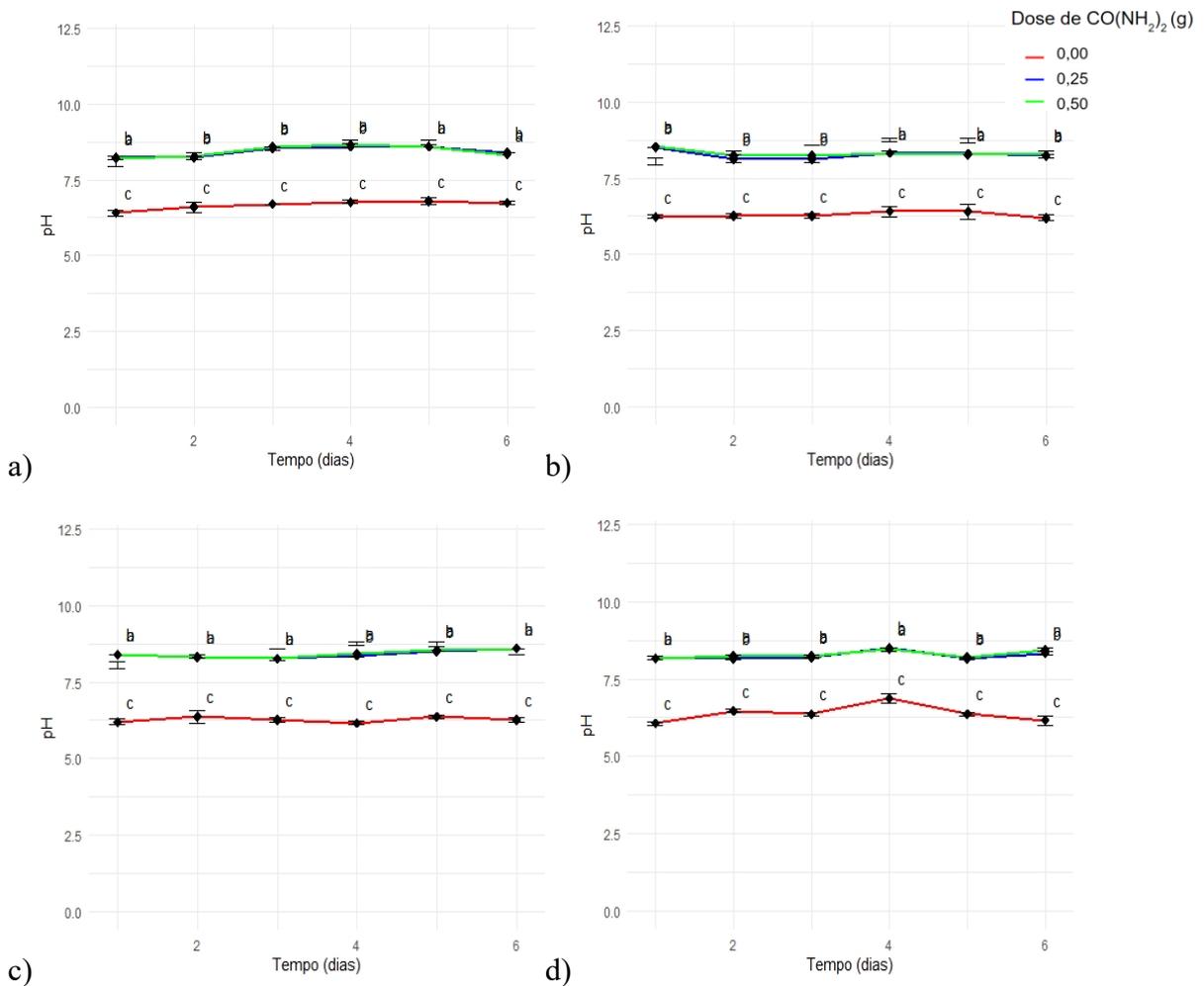


Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3). Fig. 11a: incubação a 20 °C, Fig. 11b: incubação a 25 °C, Fig. 11c: incubação a 30 °C, Fig. 11d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

Em solo de textura argilosa, o pH se manifestou de forma similar entre as temperaturas e concentrações analisadas, tendo pequenas variações sobre o tempo necessário para alcançar seu pico máximo e possuindo efeitos aproximados nas temperaturas a 20 °C (Fig. 11a), 25 °C (Fig. 11b), 30 °C (Fig. 11c) e 35 °C (Fig. 11d).

Figura 12. Efeito da aplicação de ureia sobre o pH no solo arenoso, durante o período de 6 dias de incubação em condições laboratoriais.



Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3). Fig. 12a: incubação a 20 °C, Fig. 12b: incubação a 25 °C, Fig. 12c: incubação a 30 °C, Fig. 12d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

Como ocorrido no solo argiloso, os índices de pH se desenvolveram de forma semelhante nas quatro temperaturas testadas, havendo um breve acréscimo a 35 °C (Fig. 12d) e pequenas diferenças no período necessário para alcançar seu pico máximo. Além disso, as doses obtiveram leituras aproximadas nas temperaturas a 20 °C (Fig. 12a), 25 °C (Fig. 12b), 30 °C (Fig. 12c) e 35 °C (Fig. 12d).

4.4 Ensaio de volatilização de N-NH₃

Tabela 6. Teste de significância dos fatores e suas interações no decorrer do período de incubação através do teste de p-valor para a volatilização do nitrogênio contido na amônia. Uberlândia - MG.

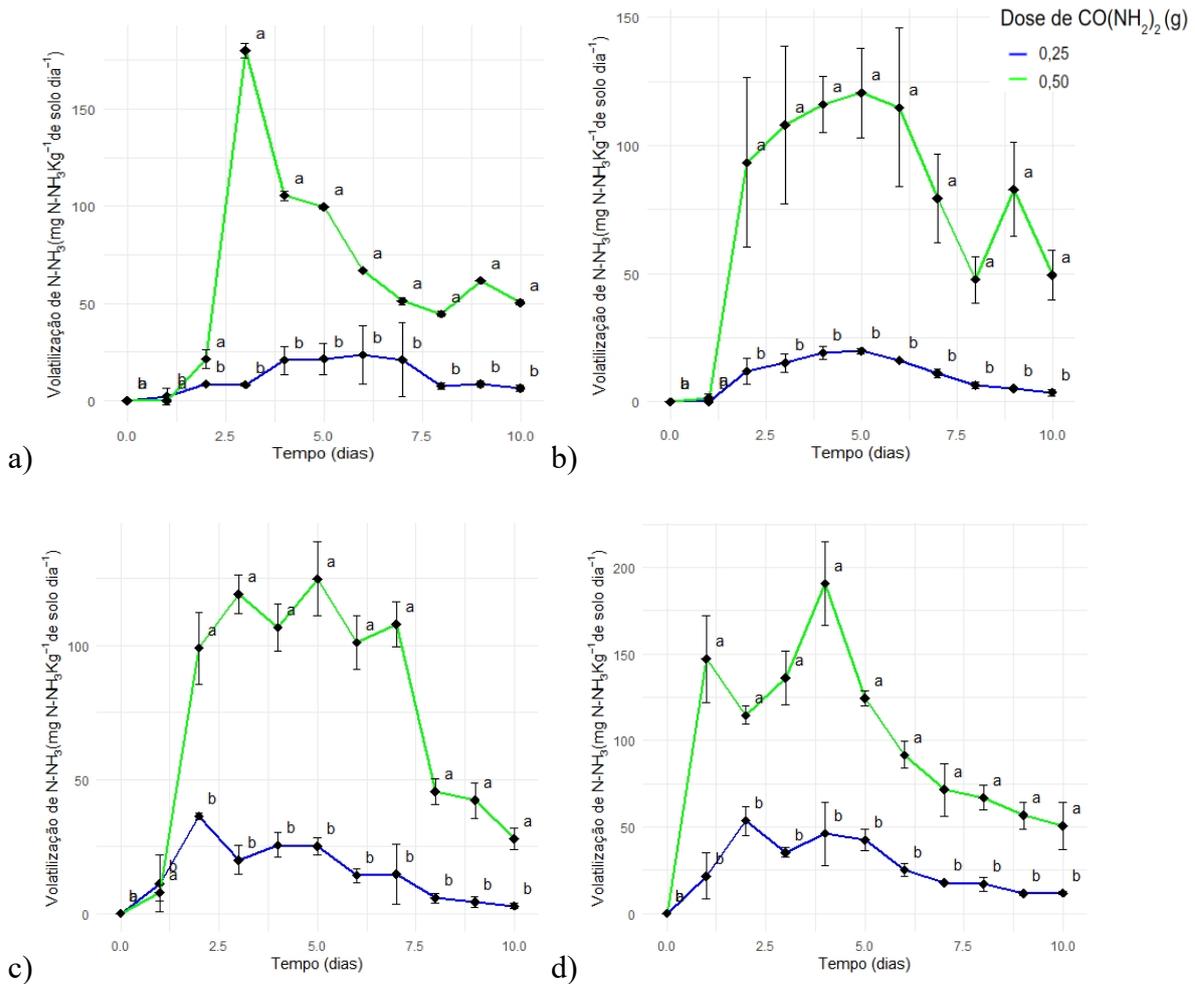
Fonte de variação	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10
Solo	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,4961 ^{ns}	0,3543 ^{ns}
Temperatura	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Solo* Temperatura	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,5142 ^{ns}
Solo*Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,1763 ^{ns}	0,8142 ^{ns}	0,0000**	0,0000**
Temperatura* Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,4423 ^{ns}
Solo* Temperatura* Ureia	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0362*

Fonte: Próprio autor.

Em que, ^{ns} não significativo pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F.

Os dados encontrados demonstram que o fator da volatilidade da NH₃ é sensível e significativo tanto para os tipos de solo quanto para temperaturas, doses de CO(NH₂)₂ e suas combinações.

Figura 13. Volatilização pontual do N-NH₃ (mg N-NH₃ Kg⁻¹ de solo dia⁻¹) após as aplicações de ureia sobre o solo argiloso durante o período de dez dias de incubação em condições laboratoriais.



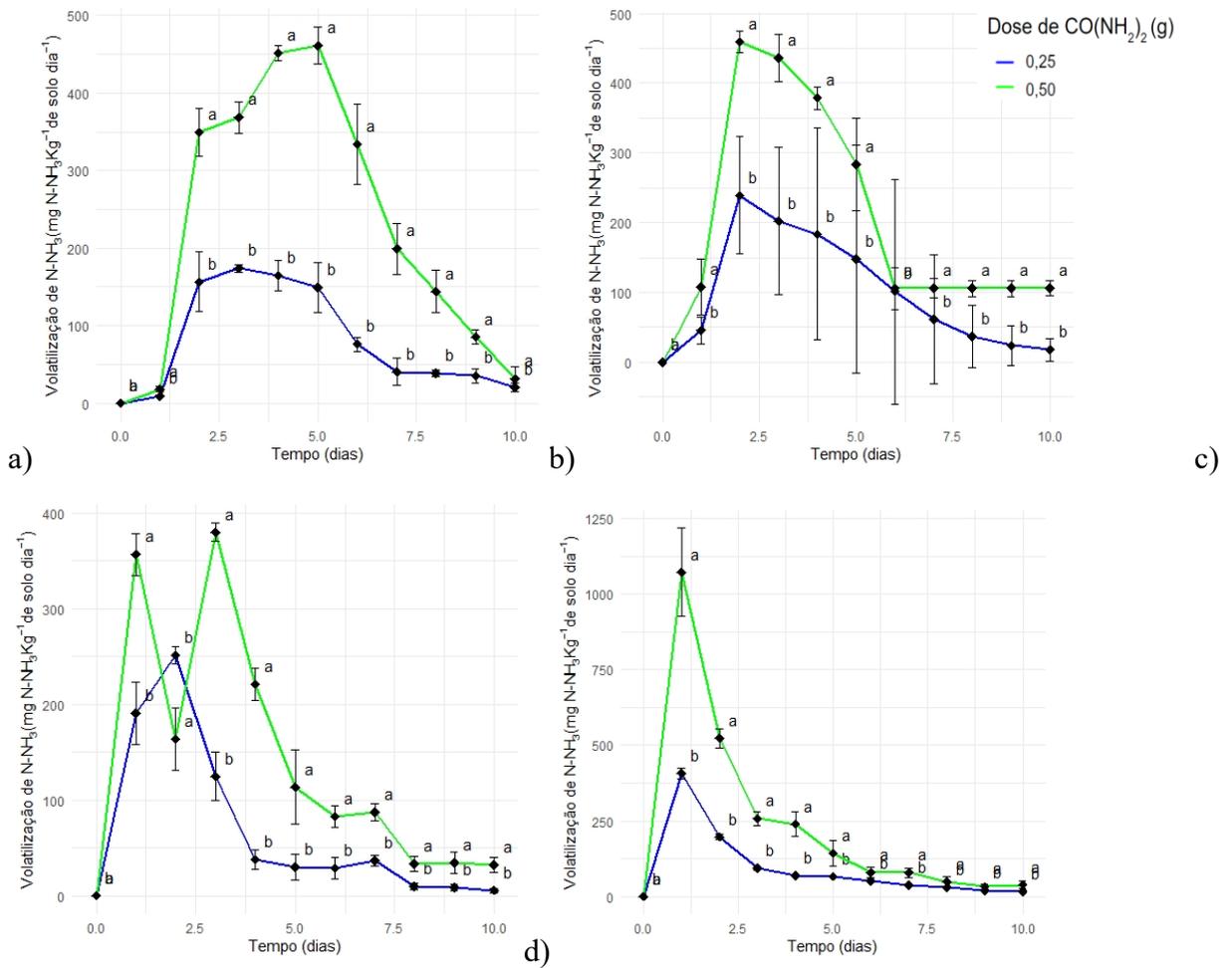
Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3). Fig. 13a: incubação a 20 °C, Fig. 13b: incubação a 25 °C, Fig. 13c: incubação a 30 °C, Fig. 13d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

Em solo de textura argilosa na condição de incubação a 35 °C (Fig. 13d) e com concentração de CO(NH₂)₂ a 0,50 g encontrou-se a maior taxa média de volatilização pontual quando comparado a outras situações experimentais. Além disso, ocorreu também o início precoce da atividade e a maior média inicial com os aumentos da temperatura e da dose de CO(NH₂)₂ quando comparado ao que ocorreu em condições de incubação reduzidas, possuindo a dose de CO(NH₂)₂ a 0,25 g leve aumento da volatilização a 35 °C (Fig. 13d) sobre as demais. Nas situações a 20 °C (Fig. 13a) e a 35 °C (Fig. 13d) com 0,50 g de CO(NH₂)₂ ocorreram as

taxas médias do pico de volatilização entre o terceiro e quarto dias de incubação e nas temperaturas a 25 °C (Fig. 13b) e a 30 °C mostraram as taxas médias desta análise no quinto dia.

Figura 14. Volatilização pontual do N-NH₃ (mg N-NH₃ Kg⁻¹ de solo dia⁻¹) após as aplicações de uréia sobre o solo arenoso durante o período de 10 dias de incubação em condições laboratoriais.



Fonte: Próprio autor.

Legenda: As barras em cada tratamento representam o desvio padrão da média amostral (n=3). Fig. 14a: incubação a 20 °C, Fig. 14b: incubação a 25 °C, Fig. 14c: incubação a 30 °C, Fig. 14d, incubação a 35 °C. Letras diferentes no mesmo dia indicam diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey.

No solo de textura arenosa se repetiu a disposição experimental de maior taxa média de volatilização de NH_3 , precocidade e acréscimo da média inicial com o aumento da temperatura tanto para 0,25 g quanto para 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. A combinação de menor dose com menores temperaturas de incubação limitou as concentrações médias e, de maneira oposta, as maiores doses com as maiores temperaturas favorecem a volatilização (Fig. 14 a;b;c;d).

Ocorreram reações distintas nas taxas médias de pico de volatilização. A 20 °C (Fig. 14a) houve atraso inicial, o que refletiu na demora em alcançar este pico. A 25 °C (Fig. 14b), 30 °C (Fig. 14c) e 35 °C (Fig. 14d) os picos aconteceram entre o primeiro e segundo dia, embora a 30 °C (Fig. 14c) tenha ocorrido uma queda antes de alcançar o segundo pico. Os maiores picos médios obtidos estão a 35 °C (Fig. 14d) e a 30 °C (Fig. 14c) de incubação, ambos em 0,50 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

5. DISCUSSÃO

Os resultados do presente trabalho mostram que atividade da urease, quanto da adição de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ no solo, aumenta significativamente. Os resultados mostram que a atividade de urease depende da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ adicionada e da temperatura. Estes resultados vão ao encontro dos relatados na literatura (COELHO, 2016; CORDERO et al., 2019). O presente trabalho destaca ainda que a atividade de urease foi maior a 25 °C. Isso pode estar relacionado à microbiota do solo sintetizar enzimas, uma vez que era esperada maior atividade nas temperaturas mais altas (30 e 35 °C). Porém, com o aumento da temperatura, houve a desnaturação proteica, concentrando maiores atividades enzimáticas a 25 °C.

A concentração de NH_4 no solo é um resultado da atividade da urease e da quantidade da água no solo (PAN et al., 2016; ZHENG et al., 2017; MARIANO et al., 2019). No entanto, a concentração do NH_4 no solo depende do total da NH_3 , da textura do solo, da matéria orgânica do solo, da nitrificação e das condições ambientais (HU et al., 2020; LU et al., 2022). O aumento de NH_4 ocorreu nos dois solos, confirmando o relatado por FU et al., (2020). Os resultados relatados no presente trabalho mostram que o aumento da temperatura antecipa uma maior concentração de NH_4 no solo com o tempo de incubação. A concentração de NH_4 depende da cinética de nitrificação do solo, oxidando os íons de NH_4 em moléculas de NO_2 e NO_3 como tem sido relatado (KHANOM et al., 2021; PERTILE et al., 2021). Embora a nitrificação possa

ocorrer sobre as condições do ensaio no presente trabalho, as concentrações de NO_2 e NO_3 , não foram mensuradas. Novos ensaios serão necessários para elucidar o processo de nitrificação sobre as condições do experimento.

Os valores de pH dos solos foram alterados com adição de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. A variação ocorreu de 7,1 para 8,1 para o solo de textura argilosa e 6,7 para 8,7 na textura arenosa, em termos médios. A evolução desses valores pode ser observada nos anexos referentes ao pH. A alteração do pH do solo é resultado da atividade da enzima urease que hidrolisa moléculas de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, liberando de NH_3 e formando OH^- como consequência da reação com moléculas de água no solo (TABATABAI et al., 1972). Os resultados mostram no ensaio que a dose de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ não aumentou o pH do solo de forma proporcional à adição, tendo poucas diferenças de pH com a dose aplicada nos dois solos. O aumento do pH do solo pode ser uma condição para favorecer o crescimento de micro-organismos ureolíticos, favorecendo o crescimento destes e, com isso, aumentar a produção de enzimas como observados nos resultados da atividade da urease com o tempo de incubação. Resultados obtidos por Coelho (2016) mostram que microsítio ureia-solo tem um aumento do gênero *Sporosarcina* nas amostras de solo com adição de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. É importante ressaltar que o pH do solo permaneceu alto com o tempo de incubação nos dois solos estudados e essa condição interfere na formação da NH_3 como consequência do acúmulo de NH_4 .

A volatilização da NH_3 do solo é a principal forma de perda dos sistemas agrícolas. Muitos estudos têm sido conduzidos para mitigar as perdas pelas emissões de NH_3 , incluindo os inibidores de urease e o uso de biochar (PAN et al., 2016; SUN et al., 2019). No presente trabalho, os resultados mostram que a volatilização de NH_3 é dependente do tipo de solo e temperatura. As emissões de NH_3 foram maiores no solo de textura arenosa do que no de textura argilosa. Estes resultados corroboram com os encontrados na literatura devido aos solos argilosos terem uma maior capacidade de adsorção de NH_4 . Os resultados mostram também que o aumento da temperatura leva a um crescimento nas emissões de NH_3 . Este aumento pode estar associado à produção de urease decorrente do aumento do pH do solo.

HU et al. (2020) e LU et al. (2022) ressaltam que, para ocorrer a transformação de uma fonte de N em formas absorvíveis às plantas, ações bioquímicas são muito importantes. Neste trabalho em especial, houve o processo de amonificação onde a $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ se converteu em NH_4 havendo a captura do N oriundo do material aplicado pela junção ao carbono e à umidade

presente no ambiente. O grupamento OH da superfície dos colóides do solo desempenhou um papel importante na captação e na garantia das funcionalidades do N. Contudo, essas ações são afetadas pelas condições de reação, como temperatura, tempo de reação e características do solo.

Os autores Preza-Fontes et al. (2022) observaram, através de um estudo em campo, a limitação da atividade microbiana em baixas temperaturas do solo, embora as condições de umidade do solo estivessem favoráveis, representando uma queda na síntese de enzimas.

Nesta pesquisa, as médias de atividade da urease foram maiores em altas temperaturas de forma equivalente às condições ambientais, na faixa apresentada por Maslov et al. (2022), que notaram que a atividade de muitas enzimas do ciclo do N, como a urease, a protease e o nitrato redutase aumentam com a elevação da temperatura, atingindo um máximo a 25–35 °C. A atividade enzimática mais elevada leva a um aumento na mineralização bruta de N. Em contrapartida, elevadas temperaturas estimulam o processo de imobilização de N por microorganismos em proporções menores, o que leva ao acúmulo de N mineral no solo.

Além disso, os autores notaram que as espécies de plantas de determinadas áreas podem alterar a atividade do N devido às mudanças na quantidade e qualidade da MO na superfície do solo. Eles também notaram que a mudança no uso da terra é um fator importante que afeta o ciclo deste elemento no solo, por conta da alteração na combinação de fatores bióticos e abióticos, tais como diferenças no clima, vegetação, propriedades e o histórico de uso do solo. Integrando esses aspectos no presente estudo, o solo de textura arenosa manifestou menores médias para a atividade de urease, como apresentado por Cordeiro et al. (2021), Lasota et al. (2021) e Chenchouni et al. (2022) por possuir baixa capacidade de armazenamento de água, de MO e de CTC, que são ampliados pela quantidade do tipo argila e silte, contrapondo-se ao solo de textura argilosa, que expressou condições adequadas de capturar e conservar a umidade para a atividade microbiológica, acolhendo a realização de diferentes atividades microbianas (BHARADWAJ, 2021).

Venterea et al. (2020) examinaram respostas às aplicações de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ em dois solos incubados, a 5, 10, 15, 22 e 30 °C, ao longo de doze semanas, observaram que há volatilização de NH_3 ocasionado pelo acúmulo de NO_2 e acarretado pelo aumento de pH e NH_4 no ambiente. Além do que, em temperaturas semelhantes, solos com maior pH apresentam maior volatilização de NH_3 . Os autores ressaltam que as reações bioquímicas presentes na

volatilização dependem dos níveis de substrato e de outros parâmetros. Neste mesmo caso, Ernst et al. (1960), Motasim et al. (2021) e Zhou et al. (2021) notaram que houve acréscimo da NH_3 com o incremento da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e da temperatura junto ao pH como descrito o qual, por intermédio da amonificação causada pela urease na presença de água no meio, aumenta o pH intensificando a volatilização.

6. CONCLUSÃO

A combinação da presença das aplicações da $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ sob as temperaturas de incubação interferiu sobre a atividade enzimática, sobre o NH_4 , sobre o pH e, também, sobre a volatilização da NH_3 dos solos.

Na situação de incubação a 25 °C a enzima urease foi influenciada positivamente. Entre 20-25 °C, a disponibilidade de amônio e a volatilização da NH_3 foram tardias e o pH foi discretamente alterado na temperatura a 35 °C no solo de textura arenosa. Já nas temperaturas entre 30-35 °C ocorreram atividade enzimática reduzida e precocidade da oferta de NH_4 e, conseqüentemente, a volatilização antecipada. No solo de textura arenosa houve prejuízos totais superiores ao passo que o solo de textura argilosa foi beneficiado com o atraso da volatilização, ampliando o tempo de absorção de N na solução.

O pico máximo de volatilização da NH_3 antecedeu o ponto superior enzimático, o que é explicado pela interação desse gás com os constituintes do solo reagindo com o ambiente ácido e com a microbiota, estimulando a atividade da urease e a concentração de NH_4 restando a parcela perdida do fertilizante na forma de NH_3 .

REFERÊNCIAS

ADAMS, Fred *et al.* A Rapid Method for Measuring Lime Requirement of Red-Yellow Podzolic Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 26, n. 4, p. 355-357, jul.1962. DOI:10.2136/sssaj1962.03615995002600040015x. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1962.03615995002600040015x>. Acesso em: 29 dez. 2021.

ADHIKARI, Kamal. Management and implications of using nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from urine patches on grazed pasture soils – A review. **Science of the total environment**, Amsterdam, v. 791, n. 15, p. 148099, out. 2021. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.148099. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721031703?casa_token=2mOYttfndRwAAAAA:De4baXdCssIHXHPGamVaNJFGxs3s4UWMHstu5jNWZkl0jZrvPnB_alcrgKSkfRvIJINZsyvkfw. Acesso em: 26 jan. 2022.

BASTIDA, Felipe *et al.* Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 12, p. 3463–3473, dez. 2006. DOI:10.1016/j.soilbio.2006.06.00. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071706002665?casa_token=NJ4HDdtAf4AAAAA:bzYX7VBkSOrTKP52C1dDukKHeiLOQ-6AWAth8yKNixs11kjDddi6HDUqe4W8wmylZG4K1YNq9Q. Acesso em: 29 jan. 2022.

BEBBER, Daniel P. The gap between atmospheric nitrogen deposition experiments and reality. **Science of the total environment**, Amsterdam, v. 801, p. 149774, dez. 2021. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.149774. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972104849X?casa_token=byqTNYIDzfEAAAAA:zcX-L6xgl2mqmcWyIr8Oklf2VjpAGKSOE25tni9iwIePTccYklzO6Xbqs94YUKQk2wQ7Ezlr4A. Acesso em: 31 jan. 2022.

BHARADWAJ, Alok. Role of Microbial Extracellular Polymeric Substances in Soil Fertility. In: VAISHNAV, Anukool; CHOUDHARY, Devendra Kumar (ed.). **Microbial Polymers: applications and ecological perspectives**. Springer, 2021. p. 251-288. DOI:10.1007/978-981-16-0045-6_15. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=nZosEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Microbial+Polymers:+applications+and+ecological+perspectives&ots=jWhmal-XTh&sig=VNwae-pRYcmsybuh2DcV1JTBl88#v=onepage&q=Microbial%20Polymers%3A%20applications%20and%20ecological%20perspectives&f=false>. Acesso em: 19 jan.2022.

BIMÜLLER, Carolin *et al.* Decoupled carbon and nitrogen mineralization in soil particle size fractions of a forest topsoil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 78, n. 8, p. 263-273, nov. 2014. DOI:10.1016/j.soilbio.2014.08.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071714002764?casa_token=TJ38r6Mm6wAAAAA:P59LHYJs7qwQSrdW0HAXZyWF8ExcAuNKyJjZtPWwa09xzPIT52Cohl7mgG8id6IttalC9vXlsw. Acesso em: 29 dez. 2021.

BLAGODATSKAYA, E. *et al.* Oxygen and substrate availability interactively control the temperature sensitivity of CO₂ and N₂O emission from soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 50, n. 5, p. 775–783, 22 jan. 2014. DOI:10.1007/s00374-014-0899-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-014-0899-6>. Acesso em: 31 jan. 2022.

BOUGUYON, Eléonor *et al.*. Nitrate sensing and signaling in plants. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, Londres, v. 23, n. 6, p. 648–654, ago. 2012. DOI:10.1016/j.semcdb.2012.01.004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084952112000080?casa_token=9hn_tzvr_fCwAAAAA:HN_WYSTj9WeBqI1De9EQ1dSEOrfEYN3JEEjF5Fusvy5vpF7rewkQzsQcXNrJ_kwbB4RwG-QwA. Acesso em: 28 jan. 2022.

BOZAL-LEORRI, Adrián *et al.* Biological and synthetic approaches to inhibiting nitrification in non-tilled Mediterranean soils. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture** [s.l.], v. 8, n. 1, 13 out. 2021. DOI: 10.1186/s40538-021-00250-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40538-021-00250-7>. Acesso em: 30 jan. 2022.

BUURMAN, Peter *et al.* **Manual for soil and water analysis**. Leiden, Backhuys, 1996. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/336184>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CARVALHO, João Luís Nunes *et al.* Implications of regional N₂O–N emission factors on sugarcane ethanol emissions and granted decarbonization certificates. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 149, p. 111423, out. 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111423. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121007061?casa_token=kON6Km0SgWQAAAAA:OO5MDVKbWNS9kG7cHygUGbk9L6FLMNBSIJzFT0GT8nFLVfgl87L1yrYGrefnT-VIYfJQjDs90Q. Acesso em: 30 jan. 2022.

CHATTERJEE, Amitava. Extent and Variation of Nitrogen Losses from Non-legume Field Crops of Conterminous United States. **Nitrogen**, Basel, v. 1, n. 1, p. 34–51, 19 maio 2020. DOI: 10.3390/nitrogen1010005. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-3129/1/1/5>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CHEN, Li *et al.* Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly(l-lactide). **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 72, n. 2, p. 342–348, maio 2008. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.09.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861707004456?casa_token=_fc-m02Exv8AAAAA:MK9laBbLdXfYzLzbheb0lWXgLO5iGbfNurRWFYO8undLUggvGEga17USB0lmbdmrEaZ5_kZfQ. Acesso em: 30 jan. 2022.

CHEN, Xinli *et al.* Negative to positive shifts in diversity effects on soil nitrogen over time. **Nature Sustainability**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 225–232, 16 nov. 2020. DOI: 10.1038/s41893-020-00641-y. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00641-y>. Acesso em: 31 jan. 2022.

CHEN, Xue *et al.* Microbially Induced Carbonate Precipitation Techniques for the Remediation of Heavy Metal and Trace Element–Polluted Soils and Water. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht v. 232, n. 7, 24 jun. 2021. DOI:10.1007/s11270-021-05206-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-021-05206-z>. Acesso em: 29 jan. 2022.

CHENCHOUNI, Haroun *et al.* Soil organic carbon stock in arid and semi-arid steppe rangelands of North Africa. **Catena**, [s.l.], v. 211, n. 1, p. 1-106004, abr. 2022. DOI:10.1016/j.catena.2021.106004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816221008626?casa_token=C32iUjLzN3IAAAAA:OgVvyMODaCRQ6esoOrSF6mQaW9x5xdTVQn69-CrFvI7MfnZ5UBZAZttN5eMLrjqel9GoIliLGA. Acesso em: 12 jan. 2022.

CHIEN, Sen H. *et al.* Comparison of Ammonium Sulfate With Other Nitrogen and Sulfur Fertilizers in Increasing Crop Production and Minimizing Environmental Impact: A Review. **Soil Science**, [s.l.], v. 176, n. 7, p. 327-335, jul. 2011. DOI:10.1097/SS.0b013e31821f0816. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2011/07000/Comparison_of_Ammonium_Sulfate_With_Other_Nitrogen.1.aspx. Acesso em: 26 jan. 2022.

COELHO, Michelle Alves. **Bioindicadores e diversidade de bactérias em ensaios com biochar e composto orgânico combinados com nitrogênio e inibidor de urease**. 2016. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 170. DOI: 10.14393/ufu.di.2016.150. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17896/1/BioindicadoresDiversidadeBacterias.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2022.

COLETO, Inmaculada *et al.* Arabidopsis thaliana transcription factors MYB28 and MYB29 shape ammonium stress responses by regulating Fe homeostasis. **New Phytologist**, [s.l.], v. 229, n. 2, p. 1021–1035, 4 out. 2020. DOI: 10.1111/nph.16918. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.16918>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CORDEIRO, Carlos Felipe dos Santos *et al.* Cover Crops Impact Crops Yields by Improving Microbiological Activity and Fertility in Sandy Soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l.], v. 5, n. 21, p. 1-10, maio 2021. DOI: 10.1007/s42729-021-00494-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00494-0>. Acesso em: 19 nov. 2022.

CORDERO, Irene *et al.* High throughput method for measuring urease activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 134, n. 8, p. 72-77, jul. 2019. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.03.014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071719300756>. Acesso em: 29 dez. 2021.

CUZMAN, Oana Adriana *et al.* Alternative nutrient sources for biotechnological use of *Sporosarcina pasteurii*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht v. 31, n. 6, p. 897–906, 27 mar. 2015. DOI: 10.1007/s11274-015-1844-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-015-1844-z>. Acesso em: 28 jan. 2022.

DAWAR, Khadim *et al.* Effects of the nitrification inhibitor nitrapyrin and mulch on N₂O emission and fertilizer use efficiency using 15N tracing techniques. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 757, p. 143739, fev. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143739. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720372703>. Acesso em: 31 jan. 2022.

DEGASPARI, Iracema Alves Manoel *et al.* Nitrogen sources and application rates affect emissions of N₂O and NH₃ in sugarcane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s.l.], v. 116, n. 3, p. 329–344, 16 jan. 2020. DOI: 10.1007/s10705-019-10045-w. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-019-10045-w>. Acesso em: 30 jan. 2022.

Delgado A., *et al.*, The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. In: Villalobos F., Fereres E. (eds) **Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture**. [s.l.], Springer, Cham. p. 15-22, fev. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-46116-8_2. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-46116-8_2. Acesso em: 28 jan. 2022.

DEMPSTER, D. N. *et al.* Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with *Eucalyptus* biochar addition to a coarse textured soil. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 354, n. 1-2, p. 311–324, 30 nov. 2011. DOI: 10.1007/s11104-011-1067-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-011-1067-5>. Acesso em: 29 jan. 2022.

DHALIWAL, S. S., *et al.* Biofortification of wheat with Mn through tank mixed formulations of MnSO₄ 7H₂O and CO(NH₂)₂—a fast mode of Mn accumulation on light textured soils of Punjab, India. **Journal Of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 5, n. 8, p. 1-12, dez. 2021. DOI: 10.1080/01904167.2021.2014873. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2021.2014873?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 26 jan. 2022.

DOMINCHIN, María Florencia *et al.* Impact of N-fertilization and peanut shell biochar on soil microbial community structure and enzyme activities in a Typic Haplustoll under different management practices. **European Journal of Soil Biology**, [s.l.], v. 104, p. 103298, maio 2021. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2021.103298. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556321000224?casa_token=6KR3s1U1qgkAAAAA:P5EGzv-VHto_6SnYOSbFOX9MtDrZwy2spwNrSxwehsuQUxzY0fc7D-cCaAxfse9A_wwwOowZeA. Acesso em: 29 jan. 2022.

ELTARAHONY, Marwa *et al.* Heavy Metals Bioremediation and Water Softening Using Ureolytic *Metschnikowia Pulcherrima* and *Raoultella Planticola*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, [s.l.], v 3 mar. 2021. DOI: 10.1002/jctb.6868. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jctb.6868>. Acesso em: 29 jan. 2022.

ERISMAN, Jan Willem *et al.* Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s.l.], v. 86, n. 2, p. 211–223, 6 jun. 2009. DOI: 10.1007/s10705-009-9285-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-009-9285-4>. Acesso em: 31 jan. 2022.

ERNST, J. W., *et al.* The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 24, n. 2, p. 87-90, 1960. DOI:10.2136/sssaj1960.03615995002400020007x. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1960.03615995002400020007x>. Acesso em: 06 jan. 2022.

ESPINDULA, Marcelo Curitiba *et al.* Ammonia loss from protected urea in soil under different irrigation depths. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 43, p. e46764, 17 ago. 2020. DOI:10.4025/actasciagron.v43i1.46764. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/zKcmxWbjjXzqwSByQpbKm6k/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 30 jan. 2022.

FOWLER, D. *et al.* Atmospheric composition change: Ecosystems–Atmosphere interactions. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 43, n. 33, p. 5193–5267, out. 2009. DOI:10.1016/j.atmosenv.2009.07.068. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009006633?casa_token=eL1v4ZbT7MAAAA:npvqQIxDFzw92ipvJfsPYetfEPgvSzvHDGPBznNQ8p1pS93LCP1R3egT4O3RdEdELFPG0XSPnA. Acesso em: 31 jan. 2022.

FOWLER, D. *et al.* The global nitrogen cycle in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, Londres v. 368, n. 1621, p. 20130164–20130164, 27 maio 2013. DOI:10.1098/rstb.2013.0164. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2013.0164>. Acesso em: 31 jan. 2022.

FU, Qingling *et al.* Effects of urease and nitrification inhibitors on soil N, nitrifier abundance and activity in a sandy loam soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 56, n. 2, p. 185–194, 25 nov. 2019. DOI:10.1007/s00374-019-01411-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-019-01411-5>. Acesso em: 29 jan. 2022.

GAGNON, Bernard *et al.* Urea-Based Fertilizer as an Efficient Nitrogen Source in Perennial Cool-Grass Forage Production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 111, n. 2, p. 867–880, mar. 2019. DOI:10.2134/agronj2018.07.0431. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2018.07.0431>. Acesso em: 31 jan. 2022.

GAMAGE, Ashoka *et al.* Effects of Rice Husk Biochar Coated Urea and Anaerobically Digested Rice Straw Compost on the Soil Fertility, and Cyclic Effect of Phosphorus. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 75, 27 dez. 2021. DOI:10.3390/plants11010075. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/1/75>. Acesso em: 31 jan. 2022.

GAO, Jichao *et al.* Effects of boric acid on urea-N transformation and 3,4-dimethylpyrazole phosphate efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 6, n. 101, p. 1091-1099, jun. 2020. DOI:10.1002/jsfa.10719. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.10719>. Acesso em: 26 jan. 2022.

GAYEN, Kousik *et al.* Solvent-Directed Transformation of the Self-assembly and Optical Property of a Peptide-Appended Core-Substituted Naphthelenediimide and Selective Detection

of Nitrite Ions in an Aqueous Medium. **Langmuir**, Washington, v. 37, n. 31, p. 9577-9587, 2021. DOI:10.1021/acs.langmuir.1c01486. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.langmuir.1c01486>. Acesso em: 25 jan. 2022.

GONDAL, Aqarab Husnain *et al.* Influence of soil pH and microbes on mineral solubility and plant nutrition: A review. **International Journal of Agriculture and Biological Sciences**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 71-81, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aqarab-Husnain/publication/350040537_Influence_of_Soil_Ph_and_Microbes_on_Mineral_Solubility_and_Plant_Nutrition_A_Review_Author%27s_Details/links/604cb5bc458515e529a76e60/Influence-of-Soil-Ph-and-Microbes-on-Mineral-Solubility-and-Plant-Nutrition-A-Review-Authors-Details.pdf. Acesso em: 25 jan. 2022.

HAN, Bing *et al.* Adsorbent materials for ammonium and ammonia removal: A review. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 283, p. 124611, fev. 2021. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124611. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620346552?casa_token=GXMCoP52kwsAAAAA:BAA5sV8MIs-9skNWDJrIK7WKWRm2DV8JFplM491YDuIUL3Pk3fqOikSdSwPmRO1LzOvXyOjaYA. Acesso em: 31 jan. 2022.

HU, Xiayi (Eric) *et al.* A review of N-functionalized solid adsorbents for post-combustion CO₂ capture. **Applied Energy**, [s.l.], v. 260, n. 2, p. 1-18, fev. 2020. DOI:10.1016/j.apenergy.2019.114244. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919319312?casa_token=eJpoclYDo1AAAAAA:QfEueJnmpQSjmfoNLHeOCILz2nXfm1JdG8W5mxImi3c07RP7IPfHbTdQYmi251BvsvaenphHkg. Acesso em: 05 jan. 2022.

JANKE, Chelsea; *et al.* Biochemical changes and distribution of nitrogen from bands of stabilised N-fertilizers in contrasting soils. **Geoderma**, [s.l.], v. 382, p. 114770, jan. 2021. DOI:10.1016/j.geoderma.2020.114770. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706120325258?casa_token=ReJ0VjLAPXsAAAAA:i5Lde2o2kv9FNfROv7YPGi5ZlivIFJW5O-QQaz2zhPTvE4Y4ySoiPVVBDj3iedDxO9RnlGP7Ow. Acesso em: 31 jan. 2022.

JOTHIMANI, S; *et al.* Enhancement of Growth, Yield and Nitrogen Use Efficiency in Rice Under the Application of Coated Urea. **Chemical Engineering**, Nova Iorque, v02i03, p. 62-69, 2021. DOI:10.53709/CHE.2021.v02i03.009. Disponível em: <https://www.che.com.es/wp-content/uploads/2021/10/enhancement-of-growth-yield-and-nitrogen-use-efficiency-in-rice-under-the-application-of-coated-urea.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2022.

KAVVADIAS, Victor *et al.* Chapter 10 - Effects of Carbon Inputs on Chemical and Microbial Properties of Soil in Irrigated and Rainfed Olive Groves. In: MUÑOZ, María Ángeles; ZORNOZA, Raúl (ed.). **Soil Management and Climate Change: effects on organic carbon, nitrogen dynamics, and greenhouse gas emissions**. [S. L.]: Academic Press, 2018. p. 137-150. DOI:10.1016/B978-0-12-812128-3.00010-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128121283000100>. Acesso em: 29 dez. 2021.

KAYE, J *et al.* A distinct urban biogeochemistry? **Trends in Ecology & Evolution**, Cambridge, v. 21, n. 4, p. 192–199, abr. 2006. DOI:10.1016/j.tree.2005.12.006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534705004131?casa_token=lp6ZJQ7U6nkAAAAA:gTIsbwVQskx2ZyN9_ErfwA9bZz9O6XRDh2hS834PcV57BzGZrSo_uuQzFt3_PMCaCgpmmw4Gfg. Acesso em: 30 jan. 2022.

KHANOM, Azmerly *et al.* Plants and microbes' responses to the net nitrification rates of chemical fertilizers in vegetable soils. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], v. 158, p. 103783, fev. 2021. DOI:10.1016/j.apsoil.2020.103783. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139320307125?casa_token=vYeOx7fcHAsAAAAA:EVVGhY9C-wFQlCtcWaThfF_n6I7v_v5uI9-RVo1YPeaWbNqhHvuk2LAbgK8qGyMhIJG5Smoeqw. Acesso em: 29 jan. 2022.

KJELDAHL, Johan Gustav. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. **Zeitschrift Für Analytische Chemie**, [s.l.], v.22, n. 12, p. 366-383, dez. 1883. DOI:10.1007/BF01338151. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01338151>. Acesso em: 29 dez. 2021.

KROL, D.J. *et al.* Nitrogen fertilisers with urease inhibitors reduce nitrous oxide and ammonia losses, while retaining yield in temperate grassland. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 725, p. 138329, jul. 2020. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.138329. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720318428?casa_token=-CpMoBNr6sAAAAA:SRvoHQov7eenc4ndhUYdc90xJO4YH_5X6gqzigNJ0n2kRkcHCprJ3jarSncFVjR8tclrhpfMMQ. Acesso em: 31 jan. 2022.

LASOTA, Jarosław *et al.* State of soil enzymatic activity in relationship to some chemical properties of Brunic Arenosols. **Soil Science Annual**, [s.l.], v. 4, n. 72, p. 140641, maio 2021. DOI:10.37501/soilsa/140641. Disponível em: <http://www.soilsa.com/State-of-soil-enzymatic-activity-in-relationship-to-some-chemical-properties-of-Brunic,140641,0,2.html>. Acesso em: 19 jan. 2022.

LI, Congyu *et al.* Distribution characteristics of nitrogen and the related microbial community in the surface sediments of the Songhua River. **RSC Advances**, [s.l.], v. 11, n. 43, p. 26721–26731, 2021. DOI:10.1039/D1RA04903H. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2021/ra/d1ra04903h>. Acesso em: 31 jan. 2022.

LI, Jie *et al.* Potential of chamomile recutita plant material to inhibit urease activity and reduce NH₃ volatilization in two agricultural soils. **Atmosphere**, Oxford, v. 12, n. 9, p. 1223, 18 set. 2021. DOI:10.3390/atmos12091223. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/9/1223>. Acesso em: 30 jan. 2022.

LI, Sheng-Xiu; *et al.* Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Advances in Agronomy**, [s.l.], p. 205–397, 2013. DOI:10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124059429000050>. Acesso em: 31 jan. 2022.

LU, Jiajun *et al.* Application of lignin in preparation of slow-release fertilizer: Current status and future perspectives. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 176, n. 1, p. 14267-114279, fev. 2022. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.114267. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669021010323?casa_token=QTgnhR3Q0d0AAAAA:9MziYM0YkKuuCkWbrQAA0E4QtZpZRXwH6pBfwHgza-7hLO8kWAe3JHV0xdkGJzYNvwLNxWMtwv. Acesso em: 05 jan. 2022.

MA, Ruoya *et al.* Global soil-derived ammonia emissions from agricultural nitrogen fertilizer application: A refinement based on regional and crop-specific emission factors. **Global Change Biology**, Oxford, v. 27, n. 4, p. 855–867, 24 nov. 2020. DOI:10.1111/gcb.15437. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.15437>. Acesso em: 30 jan. 2022.

MAIA, Luisa B. *et al.* Putting xanthine oxidoreductase and aldehyde oxidase on the NO metabolism map: Nitrite reduction by molybdoenzymes. **Redox Biology**, [s.l.], v. 19, p. 274–289, out. 2018. DOI:10.1016/j.redox.2018.08.020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213231718306657>. Acesso em: 28 jan. 2022.

MAKOWSKI, David. N₂O increasing faster than expected. **Nature Climate Change**, [s.l.], v. 9, n. 12, p. 909–910, 18 nov. 2019. DOI:10.1038/s41558-019-0642-2. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0642-2>. Acesso em: 31 jan. 2022.

MARIANO, Eduardo *et al.* Ammonia losses following surface application of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers and urea. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 203, p. 242–251, abr. 2019. DOI:10.1016/j.atmosenv.2019.02.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231019300950?casa_token=suTR0izQQngAAAAA:GVMBGcugb3SP4NU7r29GpnAfiUo6bnKwU_bMiuTgv8CLWaGPUmcIVDSnj7-UII_w1FDRypGO6A. Acesso em: 29 jan. 2022.

MARTIKAINEN, Pertti J. Nitrous oxide emission associated with autotrophic ammonium oxidation in acid coniferous forest soil. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], 50, no. 6, p. 1519-1525, 1985. DOI:10.1128/aem.50.6.1519-1525.1985. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/aem.50.6.1519-1525.1985>. Acesso em: 26 jan. 2022.

MASLOV, Mikhail N. *et al.* Soil nitrogen mineralization and its sensitivity to temperature and moisture in temperate peatlands under different land-use management practices. **Catena**, [s.l.], v. 210, n. 3, p. 105915-105922, mar. 2022. DOI:10.1016/j.catena.2021.105922. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816221007803?casa_token=rLiw3GwIfgwAAAAA:H_z8v3DATIyOP8TNFdx36AYic-cfRqqZJV_bkWf8NFxCrWzT6lOEGNXpt-gROzvmJ8KGRri8g. Acesso em: 06 jan. 2022.

MATCZUK, Dominika *et al.* Effectiveness of the use of urease inhibitors in agriculture: a review. **International Agrophysics**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 197-208, jun. 2021. DOI:10.31545/intagr/139714. Disponível em: <http://www.international-agrophysics.org/Effectiveness-of-the-use-of-urease-inhibitors-in-agriculture-a-review,139714,0,2.html>. Acesso em: 26 jan. 2022.

MEKONNEN, Eshetu *et al.* Isolation and characterization of urease-producing soil bacteria. **International Journal of Microbiology**, [s.l.], v. 2021, p. 8888641, jul. 2021. DOI:10.1155/2021/8888641. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijmicro/2021/8888641/>. Acesso em: 26 jan. 2022.

MENDONÇA, E. *et al.* **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. 1. ed. Viçosa, 2005. 170 p., Universidade Federal de Viçosa (2005), 107 p. ISBN: 9788569193029.

MORTENSEN, B.M. *et al.* Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 111, n. 2, p. 338–349, 30 jun. 2011. DOI:10.1111/j.1365-2672.2011.05065.x. Disponível em: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2672.2011.05065.x>. Acesso em: 28 jan. 2022.

MOTASIM, Ahmmed Md *et al.* Gaseous Nitrogen Losses from Tropical Soils with Liquid or Granular Urea Fertilizer Application. **Sustainability**, Nova Iorque, v. 3, n. 6, p. 3128, mar. 2021. DOI:10.3390/su13063128. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3128>. Acesso em: 19 jan. 2022.

NI, Boli, *et al.* Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 155, n. 3, p. 892–898, dez. 2009. DOI:10.1016/j.cej.2009.08.025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589470900597X?casa_token=KBvSiL_PwMkAAAAA:C9dFMM0L_7isbugRN25m_ggR1ivpx5uiUAEPpKAGRbyd-TcPMS4q9hgXBkeC0RQQRGDnqxXWRSA. Acesso em: 30 jan. 2022.

NI, Kang *et al.* Ammonia volatilization after application of urea to winter wheat over 3 years affected by novel urease and nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 197, p. 184–194, dez. 2014. DOI:10.1016/j.agee.2014.08.007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914003971?casa_token=0SOS84zrh8sAAAAA:fXmBw_ByjkNSQjrs2yOht4NI4thDVxMfhilkRwhU9s5_X6i8Gy_jtmDzb9VSAHWkGb6G4eZIVIk. Acesso em: 30 jan. 2022.

PAN, Baobao *et al.* Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 232, p. 283–289, set. 2016. DOI:10.1016/j.agee.2016.08.019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916304224?casa_token=KugDf0xy8iMAAAAA:TgngZsVEtC6QNd-J4d41ipSf0XkDU3AzoaxbMvGHNjBUVGK_dMMhrZ8_O0VLcP3XGKFuk8BkdeA. Acesso em: 29 jan. 2022.

PAUL, E.A. 2007. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry**. 3. ed. Elsevier, [s.l.], Academic Press, 532p., ISBN 978-0-12-415955-6.

PAYNE, R. J. *et al.* Impacts of atmospheric pollution on the plant communities of British acid grasslands. **Environmental Pollution**, Barking, v. 159, n. 10, p. 2602–2608, out. 2011.

DOI:10.1016/j.envpol.2011.06.009. Disponível em:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111003356?casa_token=vhna_UjEkMAAAAAA:ugBXDonBAy4aIAliIpRODGK1bKZe-E82dX6gFFOBjBrvAz9Kh3XN7D5iFWVdBsEFfjPLZNU5CNM. Acesso em: 10 mar. 2022.

PAYNE, R. *et al.* Impact of nitrogen deposition at the species level. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, [s.l], vol. 113. n 3. p. 984-987, dez. 2012. DOI:10.1073/pnas.1214299109. Disponível em:
<https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1214299109>. Acesso em: 10 mar. 2022.

PEIXOTO, Paulo Henrique Pereira. **Determinação da capacidade de campo em diferentes tipos de solo**, [s.l], 2018. Disponível em:
https://www.ufjf.br/fisiologiavegetal/files/2018/07/6_1-Determina%ca7%ca3o-Capacidade-de-Campo.pdf. Acesso em: 18 dez. 2021.

PERTILE, Mariane *et al.* Response of soil bacterial communities to the application of the herbicides imazethapyr and flumyazin. **European Journal of Soil Biology**, [s.l], v. 102, p. 103252, jan. 2021. DOI:10.1016/j.ejsobi.2020.103252. Disponível em:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556320303228?casa_token=MFigzyQ0aWcAAAAA:7R0MK7oDVDfrOb8gv_eBfxPbbGMR53mmaZkmn8PTF7cDIz1oDX5z8PLLLdmawF9nrPPEJDxPMdA. Acesso em: 29 jan. 2022.

PHILIPPOT, Laurent. *et al.* Ecology of Denitrifying Prokaryotes in Agricultural Soil. **Advances in Agronomy**, [s.l], v. 96, n. 3, p. 249-305. DOI:10.1016/S0065-2113(07)96003-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211307960034>. Acesso em: 06 jan. 2022.

PIMENTEL, João Roberto *et al.* Nitrogen (N) and sulphate (S) fertilization in wheat crop: effect on the vigor of seeds produced. **Australian Journal Of Crop Science**, [s.l], v. 04, n. 15, p. 470-478, jun. 2021. DOI:10.21475/ajcs.21.15.04.p1517. Disponível em:
https://www.cropj.com/pimentel_15_4_2021_470_478.pdf. Acesso em: 25 jan. 2022.

PREZA-FONTES, Giovani *et al.* In-season split nitrogen application and cover cropping effects on nitrous oxide emissions in rainfed maize. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l], v. 326, n. 2, p. 107793-107813, mar. 2022. DOI:10.1016/j.agee.2021.107813. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788092100517X>. Acesso em: 05 jan. 2022.

PUTRI, T. A. *et al.* Effect of differences in cocopeat, hydroton, and husk charcoal as an eggplant planting medium (*Solanum melongena*) on the absorption of ammonia (NH₃), nitrite (NO₂) and nitrate (NO₃) dumbo catfish (*Clarias* sp.) water cultivation in aquaponic system. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. p. 012049. DOI:10.1088/1755-1315/718/1/012049. Disponível em:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/718/1/012049/pdf>. Acesso em: 29 dez. 2021.

RAO, C. S. **Environmental pollution control engineering**. New Age International, [s.l], 2007.

RAVINDRAN, Balasubramani *et al.* Co-composting of food waste and swine manure augmenting biochar and salts: Nutrient dynamics, gaseous emissions and microbial activity. **Bioresource Technology**, Nova Iorque, v. 334, n. , p. 126300, jan. 2022. DOI:10.1016/j.biortech.2021.126300. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421016424?casa_token=MvAURNymAgkAAAAA:HcUhe3sNXL1pzDvfR3jqVh6QVMYmzWSt4wre9uwTDvN3gVSCpMC Gth0YXtyGnGOYwrRhw1oViTY. Acesso em: 26 jan. 2022.

ROBSON, A. D.; PITMAN, M. G. Interactions Between Nutrients in Higher Plants. **Inorganic Plant Nutrition**, [s.l.], p. 147–180, 1983. DOI:10.1007/978-3-642-68885-0_6. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-68885-0_6. Acesso em: 29 jan. 2022.

RUTHERFORD, Julian C. The emerging role of urease as a general microbial virulence factor. **PlosPathogens**, San Francisco, [s.l.], v. 10, n. 5, p. e1004062, 15 maio 2014. DOI:10.1371/journal.ppat.1004062. Disponível em: <https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1004062>. Acesso em: 29 jan. 2022.

SAKOULA, Dimitra *et al.* Universal activity-based labeling method for ammonia- and alkane-oxidizing bacteria. **The ISME Journal**, [s.l.], 6 nov. 2021. DOI:10.1038/s41396-021-01144-0. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41396-021-01144-0>. Acesso em: 31 jan. 2022.

SANTOS, J. **Determinação da umidade do solo** | UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville. Disponível em: <https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/1036/Apostila_Umidade_dos_solos_15816259409124_1036.pdf>. Acesso em: dez. 18 de 2021.

SHETTY, Premalatha; *et al.* Effect of urea fertilizer on the biochemical characteristics of soil. **International Journal of Applied Sciences and Biotechnology**, [s.l.], v. 7, n. 4, p. 414–420, 28 dez. 2019. DOI:10.3126/ijasbt.v7i4.26778. Disponível em: <https://www.nepjol.info/index.php/IJASBT/article/view/26778>. Acesso em: 31 jan. 2022.

SOARES, Thais de Marchi *et al.* Soil nitrogen dynamics under tobacco with different fertilizer management in southern Brazil. **Geoderma Regional**, [s.l.], v. 21, p. e00282, jun. 2020. DOI:10.1371/journal.ppat.1004062. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009420300316?casa_token=3eVC9iFdj_sAAAAA:RmsRNJFIPADOKckKEJkf9XM3n_UHIHNpGnc41Pau_uNjUj5C_g40tcIWN0Dt1N_A8v7yu0mGIhs. Acesso em: 30 jan. 2022.

SUN, Haijun *et al.* Floating duckweed mitigated ammonia volatilization and increased grain yield and nitrogen use efficiency of rice in biochar amended paddy soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 237, p. 124532, dez. 2019. DOI:10.1016/j.chemosphere.2019.124532. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519317564?casa_token=LkwFieKKOEKAAAAA:NWJSJQnRNRq1fHxOLFymOqxV36kkNFsTkvsY7dm6pLklQ-rD5tkbKh_ZRcifaD0GZKs-s2ywbw. Acesso em: 29 jan. 2022.

SWELUM, Ayman A. *et al.* Ammonia emissions in poultry houses and microbial nitrification as a promising reduction strategy. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 781, p. 146978, ago. 2021. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.146978. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721020489?casa_token=y3gAPJUsBw8AAAAA:GUmRU4kl332AoS_ICSt841gIjEAIxapP8woUDrT-v8ln7Xj9DNkDnGKd1r6tb1lBT0QXJ94cck. Acesso em: 31 jan. 2022.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 4, n. 4, p. 479–487, nov. 1972. DOI:10.1016/0038-0717(72)90064-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071772900648>. Acesso em: 29 jan. 2022.

THILAKARATHNA, Shakila. Primings of soil organic matter and denitrification mediate the effects of moisture on nitrous oxide production. **Soil Biology And Biochemistry**, Elmsford, v. 155, n. 5, p. 108166, abr. 2021. DOI:10.1016/0038-0717(72)90064-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071772900648>. Acesso em: 26 jan. 2022.

VAN DAMME, Martin *et al.* Global, regional and national trends of atmospheric ammonia derived from a decadal (2008–2018) satellite record. **Environmental Research Letters**, [s.l.], v. 16, n. 5, p. 055017, 1 maio 2021. DOI:10.1088/1748-9326/abd5e0. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abd5e0/meta>. Acesso em: 31 jan. 2022.

VENTEREA, Rodney T. *et al.* Nitrite accumulation and nitrogen gas production increase with decreasing temperature in urea-amended soils: Experiments and modeling. **Soil Biology And Biochemistry**, Elmsford, v. 142, n. 3, p. 1-11, mar. 2020. DOI:10.1016/j.soilbio.2020.107727. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071720300249?casa_token=Nv4A9DpzCm4AAAAA:3NOP-VgL_0rQMtOS3kIk2dLeIULY5PB7vJZ68_Rv7U7wbGE6hc-ZqkhDM3sq4YXPxPW32aiwjJ8. Acesso em: 08 jan. 2022.

WANG, Xiao-Ling *et al.* Effects of land use on soil total and light fraction organic, and microbial biomass C and N in a semi-arid ecosystem of northwest China. **Geoderma**, [s.l.], v. 153, n. 1-2, p. 285–290, out. 2009. DOI:10.1016/j.geoderma.2009.08.020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109002729?casa_token=vS2rILA8TXsAAAAA:nmkwtY4fLzwr6N-or8hvkfh_CHM8pQfMRInXce1fjBELM1lr-5tk974elXDqWssA31oDxrie7w. Acesso em: 29 jan. 2022.

XU, Hongwei *et al.* Responses of soil enzyme activity and soil organic carbon stability over time after cropland abandonment in different vegetation zones of the Loess Plateau of China. **CATENA**, [s.l.], v. 196, p. 104812, jan. 2021. DOI:10.1016/j.catena.2020.104812. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816220303623?casa_token=K7_d14b_BnoAAAAA:RiEDas11F-5xRM3Sn7V5HY1EWQNeq8U7quvhbfdDL6xQMsXof7JH2vBZfzBLSoWAF_Og1pvIYE. Acesso em: 29 jan. 2022.

ZAVARZIN, G.A. Microbial Cycles. **Encyclopedia of Ecology**, [s.l], p. 129–134, 2008. DOI:10.1134/S0026261706050018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0026261706050018>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ZENAWI, Gebregergis *et al.* Effect of nitrogen fertilization on the growth and seed yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of Agronomy**, [s.l], v. 2019, p. 1–7, 24 jul. 2019. DOI:10.1155/2019/5027254. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2019/5027254/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

ZHENG, Haifeng *et al.* Factors influencing soil enzyme activity in China's forest ecosystems. **Plant Ecology**, [s.l], v. 219, n. 1, p. 31–44, 30 out. 2017. DOI:10.1007/s11258-017-0775-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11258-017-0775-1>. Acesso em: 29 jan. 2022.

ZHENG, Maosheng *et al.* Active ammonia-oxidizing bacteria and archaea in wastewater treatment systems. **Journal of Environmental Sciences**, [s.l], v. 102, p. 273–282, abr. 2021. DOI:10.1016/j.jes.2020.09.039. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074220304058?casa_token=-HgzhT2UiUAAAAA:Y15HZ6_UOazaptk_tjR10tLC01ukQmKia-MnIkG3B1EnVOv45s5YM4e8qcHVfyWDEyeIWdiRf2M. Acesso em: 31 jan. 2022.

ZHOU, Shizheng *et al.* Modified cornstalk biochar can reduce ammonia emissions from compost by increasing the number of ammonia-oxidizing bacteria and decreasing urease activity. **Bioresource Technology**, [s.l], Reino Unido, v. 319, n. 6, p. 1-10, jan. 2021. DOI:10.1016/j.biortech.2020.124120. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420313948?casa_token=tKiLcQTzprMAAAAA:QWxGYJiDUSOsmIA8u0BqDCCBgoGY6uDDtimiVrR212Bt6LwbTpmphGUF_bLYwJxg4eeli4WtOGM. Acesso em: 19 jan. 2022.

ANEXO A- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	58,2	61,7	84,8	53,2	92,1	194,9
	58,2	53,0	121,7	44,8	88,2	162,4
	61,7	62,2	75,5	47,8	87,7	176,4
2	36,7	99,4	232,9	7,1	122,0	215,5
	2,9	104,2	206,1	7,6	103,5	227,1
	0,2	112,8	226,5	12,2	124,8	216,9
3	89,5	162,7	376,5	77,8	205,9	284,2
	82,9	162,1	365,1	83,0	204,8	308,0
	84,1	154,9	354,5	83,5	196,6	295,6
4	20,7	122,6	256,2	13,5	121,7	303,6
	9,5	169,4	271,3	10,6	137,6	327,1
	9,0	130,4	252,9	4,9	139,5	299,7
5	18,0	145,3	268,2	14,0	120,7	199,8
	22,3	108,4	286,7	8,1	113,3	237,0
	-1,0	130,5	268,9	2,3	119,6	290,1
6	2,1	118,5	294,5	96,2	129,4	266,1
	2,1	141,5	292,2	87,0	124,8	210,5
	8,0	80,1	307,5	83,5	140,6	238,5

*0,00 – Sem adição de ureia;

ANEXO B- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	46,7	138,1	136,2	80,5	153,3	180,0
	29,8	142,8	132,5	100,8	159,0	183,3
	23,2	124,9	207,8	84,6	166,3	224,5
2	47,5	126,4	259,9	9,5	136,3	276,0
	13,1	190,1	247,8	28,6	156,3	263,9
	25,3	155,7	272,0	15,6	135,4	245,7
3	-11,3	159,4	228,6	-18,1	116,4	221,2
	-24,3	160,5	236,1	-22,7	115,5	239,8
	-13,5	141,0	261,0	-29,2	96,0	200,8
4	36,9	172,5	327,2	35,5	138,5	267,4
	20,1	305,9	344,0	24,9	142,3	288,6
	32,4	180,4	327,9	30,7	129,8	307,8
5	25,8	168,0	253,9	42,7	111,0	108,4
	36,6	142,3	292,5	26,5	95,6	209,1
	43,6	138,4	317,2	31,6	106,7	246,6
6	31,2	163,1	266,1	56,3	140,0	205,6
	19,2	173,1	267,1	32,1	144,3	228,1
	58,2	171,1	251,1	52,0	130,5	298,0

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO C- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	42,9	104,1	216,9	29,6	166,0	224,4
	20,3	100,9	172,8	33,3	143,7	206,8
	33,2	121,3	237,3	24,0	156,7	224,4
2	29,6	160,7	268,7	21,0	169,5	252,0
	28,5	168,0	264,5	37,3	168,6	253,8
	44,3	154,4	265,5	29,2	146,0	285,5
3	70,9	98,2	180,2	23,4	116,0	186,8
	73,1	98,2	196,6	56,5	109,4	215,2
	62,1	102,6	250,2	74,4	122,6	235,0
4	13,5	293,3	458,7	0,2	331,0	453,7
	-4,2	302,2	526,4	-3,6	342,5	514,1
	9,1	287,8	529,8	10,7	280,2	505,5
5	16,4	228,6	301,7	6,3	221,1	533,4
	2,7	139,6	327,8	1,4	240,8	442,7
	-0,7	200,1	372,3	5,3	233,9	318,6
6	-1,7	245,0	532,6	-2,5	263,6	473,7
	4,0	215,4	583,8	-4,4	274,4	446,2
	7,4	254,1	519,0	-0,5	258,7	428,6

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO D- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	89,7	192,1	300,3	-23,5	255,1	297,7
	76,1	174,7	277,1	-15,2	145,9	282,7
	78,1	206,6	279,0	-21,9	160,0	310,2
2	35,2	318,9	497,7	20,1	239,4	368,0
	16,1	341,5	557,3	11,8	328,9	404,1
	17,3	306,9	576,3	14,9	310,4	451,4
3	13,9	230,9	549,3	10,2	218,0	404,5
	7,4	277,3	446,8	19,5	230,2	352,3
	8,5	283,8	421,9	23,2	210,6	376,5
4	8,1	268,3	424,0	17,6	237,5	444,9
	7,0	276,1	462,9	11,8	229,8	438,2
	10,3	280,6	462,9	12,8	239,4	449,7
5	29,2	220,1	423,3	7,7	220,3	368,5
	18,0	222,3	489,9	11,6	225,2	381,2
	14,6	217,8	425,5	-0,1	238,8	420,2
6	9,2	259,5	0,0	29,4	200,7	285,4
	-4,3	234,7	495,0	13,8	226,0	256,2
	5,9	239,2	500,7	14,8	184,2	253,3

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO E- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	120,0	565,2	686,4	106,6	782,3	1051,5
	129,2	550,8	839,4	123,1	849,6	1071,5
	122,9	498,8	594,1	115,1	844,6	1064,0
2	167,0	810,8	1290,7	159,0	989,6	1538,4
	206,1	805,4	1494,4	116,9	1045,2	1499,0
	148,7	837,6	1542,7	168,3	980,4	1638,0
3	187,4	972,8	2596,7	162,3	1099,4	1851,2
	179,6	996,8	1987,4	162,3	1120,1	1998,9
	192,2	1104,9	1996,4	158,7	1148,7	2004,1
4	139,8	807,8	1654,4	119,3	1039,2	1741,4
	125,9	869,1	1724,0	126,6	979,1	1808,8
	126,5	760,5	1807,6	121,7	1173,9	1804,0
5	142,9	889,3	2048,2	165,8	1214,1	1928,2
	153,3	704,9	1771,6	154,1	1041,5	1922,9
	149,6	1021,5	1768,5	173,8	1238,0	1946,8
6	189,4	1070,9	1995,4	176,3	1116,2	1935,0
	189,4	997,1	2024,9	179,9	1192,7	1657,0
	201,8	964,6	1954,0	180,4	1215,7	1906,9

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO F- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	261,2	2012,7	2337,0	182,9	1744,5	2250,6
	248,4	2150,3	2425,5	184,6	1845,7	2149,4
	235,7	2061,9	2297,7	198,9	1871,0	2284,4
2	157,8	1962,0	2437,3	104,2	1605,9	2526,1
	156,8	1709,1	2750,8	118,1	1406,3	3168,5
	161,8	1941,8	2669,9	106,8	1953,2	3498,3
3	136,7	1648,1	2426,2	73,7	1396,1	2472,2
	118,3	1810,2	2858,5	92,3	1897,0	3056,6
	141,0	1929,1	3496,2	72,8	1813,5	2852,5
4	248,8	2532,4	3541,3	127,9	2346,9	3097,4
	182,6	2084,0	3933,7	114,4	2510,5	3251,4
	190,5	2577,3	3492,4	141,4	2443,1	3078,2
5	182,8	1917,2	3132,1	149,4	2218,7	3711,6
	252,0	1709,7	3517,3	127,2	2193,2	2952,4
	173,0	1551,7	3458,0	140,8	2440,5	3404,5
6	140,1	2001,3	2821,0	125,1	1875,1	2954,3
	165,1	2031,3	2561,1	107,2	2315,4	2807,5
	125,2	2221,2	2920,9	121,0	1754,3	3066,5

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO G- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	213,7	1223,5	2673,6	179,0	1808,1	2485,3
	209,4	1459,8	2254,7	165,0	1715,3	2745,0
	215,8	1964,7	2201,0	150,2	1631,8	2921,3
2	226,7	2288,2	3274,0	170,4	2166,4	3198,8
	222,5	1973,6	3651,5	163,2	2103,0	3008,7
	227,8	1847,8	3085,2	165,9	2012,4	3533,9
3	327,2	1434,9	3392,5	246,7	1985,4	2986,6
	336,0	1227,1	3403,5	293,9	1654,8	2892,2
	311,9	1489,6	3020,7	254,3	1758,7	2948,8
4	263,3	1649,7	2804,2	178,5	2028,8	2421,9
	238,9	1555,3	3409,3	177,6	2043,1	2704,7
	246,7	1749,6	3209,5	194,8	1971,2	2690,3
5	173,8	1719,1	2603,1	97,9	2174,3	2932,9
	56,4	1171,5	2734,3	83,1	1977,2	2711,2
	110,0	1456,7	2802,8	102,9	1711,2	2711,2
6	124,5	1736,5	3350,8	138,9	1740,2	2874,2
	135,8	1526,2	3254,1	129,1	2044,6	2938,0
	237,0	1770,6	3015,4	142,9	1735,3	2790,8

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO H- Valores das leituras da urease ($\mu\text{g NH}_4/\text{g/h}$) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	190,1	1303,3	1883,0	296,9	1559,5	2556,5
	264,5	1114,9	1921,6	260,2	1513,6	2356,3
	245,2	1153,6	3771,7	240,1	1480,2	2189,4
2	334,4	1862,5	3376,4	440,1	2185,1	3219,7
	392,8	2095,0	3418,1	418,5	2668,9	3646,9
	402,3	1999,6	3298,9	379,4	2802,7	3682,9
3	285,9	1418,9	2827,5	295,4	1873,3	2777,6
	270,8	1791,3	2978,6	294,5	1775,4	2931,4
	271,9	1640,2	2784,4	239,5	1523,7	3080,5
4	331,7	1719,7	3621,3	343,1	1859,8	3348,4
	329,5	1630,8	3054,1	317,2	1850,2	3218,7
	405,1	1653,0	2842,9	315,3	1883,8	3113,1
5	443,6	1523,7	3042,3	305,1	1676,7	2261,8
	501,2	1484,2	2867,3	272,9	1525,6	2456,8
	492,2	1506,7	3302,0	260,3	1515,8	2720,1
6	309,1	1697,5	3005,0	388,9	1485,5	2454,1
	291,0	1365,0	2959,9	354,5	1407,6	2736,4
	298,9	1460,8	3021,9	348,7	1821,3	2799,6

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO I- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	28,2	477,6	597,1	31,7	647,8	976,8
	28,4	458,5	941,4	31,9	691,6	1054,6
	34,1	544,5	633,0	26,5	689,7	1140,4
2	36,1	837,9	1379,7	42,7	682,4	1591,9
	39,4	893,4	1812,6	44,5	697,2	1530,8
	40,9	993,3	1701,6	43,2	851,0	1293,7
3	41,8	1176,0	1618,5	55,2	894,0	1495,5
	47,8	1049,2	2438,8	46,3	1045,4	1640,6
	47,0	1121,3	1926,7	39,8	958,3	1856,3
4	38,5	1074,9	2008,8	38,5	864,1	1522,1
	36,9	1192,5	2156,4	37,0	810,2	1335,4
	39,5	971,1	2013,4	40,4	929,5	1910,8
5	42,3	1128,5	1884,6	49,3	758,9	1323,8
	42,6	970,7	2159,5	45,3	816,2	1345,1
	44,4	1189,6	2139,1	45,1	973,4	2527,3
6	47,1	1133,9	2224,7	41,1	821,5	1705,1
	40,0	1048,3	2170,9	35,2	801,1	1160,3
	37,8	1085,0	2247,5	33,0	874,6	1458,2

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO J- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4\cdot\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	117,2	771,0	870,1	82,6	637,3	894,1
	86,7	784,4	782,4	64,6	643,8	961,2
	75,3	776,7	1030,2	79,3	660,2	1064,3
2	41,3	973,6	1476,6	31,9	597,0	830,4
	76,1	945,0	1478,6	72,3	702,3	942,7
	82,2	940,9	1450,0	74,1	730,4	962,0
3	-21,2	1122,7	1620,3	56,8	995,5	1774,9
	15,9	1168,5	1744,8	23,0	1059,2	1743,1
	26,8	1159,8	1779,7	-5,1	958,0	1261,5
4	44,9	1207,3	1890,3	60,4	820,1	1458,9
	51,8	1295,8	2151,2	49,9	896,1	1603,0
	51,5	1409,3	2064,7	48,3	892,2	1770,5
5	27,3	1175,6	1852,3	39,3	706,7	686,0
	23,1	1149,7	1938,2	25,3	849,8	1173,9
	31,1	982,0	1706,6	35,5	936,0	1177,4
6	33,8	1184,9	1641,5	52,8	824,4	1466,6
	33,6	1075,8	1734,5	65,3	887,2	1721,3
	30,0	1386,9	184,4	377,6	920,4	1588,7

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO K- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4\cdot\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	24,5	663,6	1235,1	25,6	764,2	853,3
	24,7	781,8	1123,4	31,7	756,8	985,0
	28,6	876,3	1286,6	27,4	643,6	877,4
2	38,8	1091,0	1795,5	51,8	1011,1	1790,0
	34,4	1095,2	1862,9	37,9	1090,8	1802,7
	40,1	1028,1	1909,0	37,4	1060,0	1795,4
3	37,1	1021,0	1780,0	38,3	991,4	1471,2
	34,5	1185,1	1906,9	44,9	998,9	1671,4
	33,2	1222,3	2040,3	41,5	1012,2	2047,4
4	19,6	1195,0	1741,2	45,1	974,0	1802,0
	24,9	941,9	1934,3	27,3	911,2	1825,9
	32,2	1035,1	1981,0	29,0	1095,3	1687,8
5	19,5	1237,5	1940,1	34,6	1250,0	2469,4
	19,3	1173,6	1750,8	25,7	1285,5	2178,6
	29,1	1137,1	2127,2	27,7	1277,6	1650,0
6	36,3	1208,4	2010,5	45,1	1059,4	2016,1
	34,4	1087,9	2279,9	39,2	1122,2	2151,6
	34,4	1101,6	2126,4	38,0	1116,3	2307,7

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO L- Valores das leituras do amônio ($\mu\text{g NH}_4.\text{g}^{-1}$ solo seco) para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	15,0	641,1	948,3	20,2	558,7	1409,8
	19,7	581,2	1037,2	19,3	738,9	1336,3
	15,2	824,7	1052,7	13,7	648,8	1406,4
2	32,5	1050,2	1863,1	40,5	956,4	1524,6
	35,2	1164,6	2118,2	33,5	919,3	1604,9
	37,3	1188,4	2032,4	36,5	1007,9	1835,5
3	43,6	906,5	1802,4	37,8	956,3	1176,3
	24,7	1079,2	1713,9	38,9	961,9	1235,9
	27,8	999,3	1854,2	33,0	866,8	1405,6
4	31,4	1019,3	1815,5	38,5	603,7	1658,2
	32,1	974,8	1717,6	36,7	740,1	1485,3
	32,3	972,6	1608,6	37,5	889,9	1715,8
5	35,9	934,6	1621,1	26,3	719,4	1325,9
	33,2	887,2	1971,1	22,6	684,3	1279,1
	46,3	914,3	1788,2	22,4	690,2	1353,2
6	31,6	1021,6	1734,0	31,0	792,8	1036,1
	30,3	956,3	1835,4	30,8	779,8	880,4
	31,8	1150,1	1939,1	28,1	757,7	894,0

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO M- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 20 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	6,9	8,0	8,0	6,5	8,2	8,2
	7,0	7,9	8,2	6,4	8,3	8,2
	6,0	8,0	8,0	6,3	8,2	8,2
2	7,0	8,2	8,3	6,8	8,2	8,3
	7,0	8,2	8,4	6,5	8,3	8,2
	7,1	8,2	8,3	6,5	8,2	8,3
3	7,0	8,6	8,6	6,7	8,5	8,6
	7,1	8,5	8,6	6,7	8,5	8,6
	7,2	8,5	8,6	6,7	8,6	8,6
4	7,1	8,7	8,8	6,8	8,6	8,7
	7,1	8,7	8,8	6,8	8,6	8,7
	7,2	8,5	8,7	6,7	8,6	8,6
5	7,0	8,3	8,8	6,9	8,6	8,6
	7,1	8,4	8,7	6,8	8,6	8,6
	7,2	8,6	8,7	6,7	8,6	8,6
6	6,9	8,2	8,4	6,8	8,4	8,3
	7,1	8,2	8,4	6,7	8,4	8,4
	7,1	8,2	8,4	6,7	8,4	8,3

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO N- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	6,6	8,1	8,2	6,3	8,5	8,6
	6,6	8,2	8,3	6,2	8,5	8,5
	6,5	8,1	8,2	6,2	8,5	8,5
2	6,5	8,2	8,4	6,3	8,0	8,3
	6,6	8,1	8,2	6,3	8,2	8,2
	6,7	8,1	8,3	6,2	8,2	8,2
3	6,5	8,2	8,4	6,3	8,0	8,3
	6,6	8,1	8,2	6,3	8,2	8,2
	6,7	8,1	8,3	6,2	8,2	8,2
4	6,7	8,4	8,5	6,5	8,4	8,4
	6,7	8,3	8,5	6,5	8,3	8,3
	6,7	8,3	8,3	6,2	8,3	8,3
5	7,2	8,5	8,6	6,7	8,3	8,1
	7,3	8,5	8,6	6,2	8,3	8,4
	7,3	8,5	8,5	6,3	8,3	8,3
6	7,1	8,2	8,4	6,3	8,2	8,3
	7,1	8,2	8,4	6,2	8,3	8,3
	7,2	8,3	8,4	6,1	8,2	8,2

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO O- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 30 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	7,4	8,4	8,5	6,3	8,4	8,4
	7,3	8,5	8,5	6,2	8,4	8,4
	7,3	8,4	8,5	6,1	8,4	8,4
2	7,1	8,6	8,5	6,6	8,4	8,3
	7,2	8,5	8,5	6,3	8,3	8,3
	7,3	8,5	8,5	6,2	8,3	8,3
3	7,2	8,4	8,4	6,3	8,2	8,3
	7,3	8,3	8,5	6,3	8,3	8,3
	7,1	8,4	8,4	6,2	8,3	8,2
4	7,0	8,6	8,6	6,2	8,4	8,5
	7,1	8,5	8,6	6,2	8,4	8,5
	7,1	8,5	8,6	6,1	8,3	8,3
5	7,0	8,0	8,8	6,3	8,5	8,6
	7,1	8,5	8,6	6,4	8,5	8,5
	7,1	8,7	8,7	6,4	8,5	8,5
6	7,2	8,5	8,8	6,3	8,6	8,6
	7,3	8,5	8,8	6,3	8,6	8,6
	7,2	8,5	8,8	6,2	8,6	8,6

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO P- Valores das leituras do índice de pH para dois tipos de solo, três concentrações de ureia e três réplicas à temperatura de 35 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)					
	*0,00	0,25	0,50	*0,00	0,25	0,50
1	6,9	8,4	8,3	6,1	8,2	8,2
	7,0	8,2	8,3	6,0	8,2	8,2
	6,9	8,2	8,3	6,1	8,1	8,1
2	7,1	8,3	8,4	6,4	8,2	8,3
	7,1	8,4	8,4	6,5	8,2	8,2
	7,1	8,3	8,3	6,5	8,1	8,2
3	7,1	8,1	8,4	6,3	8,2	8,3
	7,2	8,4	8,4	6,4	8,2	8,2
	7,1	8,4	8,4	6,4	8,2	8,2
4	7,2	8,7	8,6	7,0	8,5	8,5
	7,2	8,6	8,7	6,9	8,5	8,5
	7,2	8,6	8,6	6,7	8,5	8,4
5	6,8	8,2	8,3	6,4	8,2	8,2
	6,8	8,2	8,3	6,4	8,2	8,2
	7,0	8,2	8,2	6,3	8,1	8,2
6	7,0	8,7	8,6	6,0	8,3	8,4
	7,0	8,3	8,7	6,3	8,4	8,5
	7,0	8,4	8,7	6,2	8,3	8,4

*0,00 – Sem adição de ureia.

ANEXO Q- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 20 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso	
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
1	0,39	0,0	0,0	7,1	23,2
		0,2	0,0	9,07	14,6
		8,7	0,0	8,39	16,3
		0,3	0,1	11,21	19,4
2	0,28	8,0	16,4	138,1	347,2
		9,2	25,1	112,9	310,6
		9,1	17,8	194,0	355,6
		8,3	26,8	182,4	384,9
3	0,17	8,6	180,2	174,3	380,7
		9,3	183,9	177,9	347,4
		8,1	172,3	166,6	355,8
		7,0	182,9	176,1	389,4
4	0,24	30,4	83,5	169,8	439,4
		15,3	135,0	165,4	463,6
		15,8	84,4	138,7	449,5
		21,0	118,5	186,5	454,2
5	0,24	33,6	91,0	195,4	442,2
		17,3	119,0	143,0	475,6
		16,6	89,9	119,1	486,3
		18,6	98,5	140,4	439,1
6	0,27	25,5	61,7	85,0	340,9
		11,7	80,2	71,1	341,6
		13,1	57,0	65,5	263,2
		44,3	68,9	81,9	389,3
7	0,49	49,1	49,4	55,5	162,5
		17,9	46,8	50,2	228,2
		8,6	63,4	41,0	179,6
		8,9	45,3	16,3	226,6
8	0,35	9,5	45,6	43,1	169,5
		6,1	50,0	40,7	166,6
		6,5	40,5	32,5	123,6
		8,7	42,4	38,3	117,0
9	0,27	7,5	85,8	48,4	95,1
		10,4	54,2	30,2	90,3
		9,5	53,5	33,3	80,5
		6,7	53,8	29,4	75,7

ANEXO Q- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 20 °C (Continuação).

Tempo (dias)	Solo Argiloso		Solo Arenoso		
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
10	0,37	2,5	62,9	14,1	12,5
		8,2	42,0	22,9	44,2
		1,0	41,2	20,1	18,9
		2,0	40,0	11,2	40,0

*Branco – Sem adição de solo e ureia;

ANEXO R- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso		Solo Arenoso		
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
1	0,45	0,1	0,6	69,2	89,1
		0,4	1,0	43,3	167,8
		0,0	3,9	60,2	86,0
		0,0	0,7	35,9	89,6
2	0,19	14,9	115,1	214,1	440,8
		10,8	120,4	197,8	472,6
		5,7	89,9	197,8	452,9
		16,7	48,1	230,1	469,9
3	0,34	18,8	84,3	138,7	410,2
		15,2	80,9	179,3	402,4
		10,2	144,3	157,3	465,9
		16,5	122,6	147,3	464,9
4	0,27	17,9	104,4	122,1	375,0
		21,8	110,3	117,9	357,4
		16,1	120,5	102,2	349,1
		20,3	128,9	123,3	387,9
5	0,41	19,2	144,7	81,4	285,0
		18,8	118,2	60,5	214,5
		20,8	115,2	78,7	262,8
		20,8	103,7	78,4	372,7
6	0,25	16,2	111,8	36,0	138,2
		16,7	154,8	29,2	72,9
		16,0	79,4	22,0	122,7
		15,6	113,4	30,1	89,9
7	0,36	9,6	77,6	21,2	72,3
		12,3	104,1	15,4	46,0
		9,6	64,3	19,5	59,5
		13,0	71,8	26,4	42,5
8	0,27	8,1	45,3	24,0	36,4
		7,0	61,0	8,6	25,5
		5,2	42,4	14,4	44,5
		6,1	41,9	20,2	51,7
9	0,31	4,5	77,7	11,4	39,1
		6,4	61,5	6,9	41,1
		5,1	86,7	9,8	40,9
		5,4	105,7	15,2	16,9

ANEXO R- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 25 °C (Continuação).

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso	
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
10	0,55	2,2	55,0	10,0	55,0
		5,0	50,8	7,4	48,8
		5,0	48,0	10,4	50,4
		4,5	59,0	15,5	22,9

*Branco – Sem adição de solo e ureia;

ANEXO S- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 30 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso	
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
1	0,18	5,1	11,9	188,1	350,3
		6,9	7,3	233,8	387,4
		27,1	4,8	183,8	353,1
		5,6	6,9	155,9	335,3
2	0,33	37,5	86,8	244,4	181,4
		34,9	88,4	262,1	118,5
		37,3	113,9	244,0	192,9
		35,8	106,5	254,4	160,2
3	0,23	22,7	116,9	116,9	370,3
		22,5	112,9	146,6	384,1
		22,7	129,4	92,4	374,2
		11,8	117,0	143,0	390,4
4	0,30	28,6	100,2	50,2	210,1
		28,7	118,9	40,3	220,7
		26,2	107,4	25,9	207,1
		18,9	100,3	36,0	244,6
5	0,22	25,3	117,3	49,5	89,0
		25,5	144,2	29,4	167,8
		28,5	124,2	19,5	113,2
		21,0	113,4	21,8	84,4
6	0,51	12,1	89,5	30,6	95,3
		16,5	113,9	27,0	75,9
		16,0	98,6	14,3	71,1
		11,7	102,2	41,8	89,7
7	0,45	7,9	96,1	35,4	82,7
		30,8	112,6	33,6	100,9
		6,8	108,3	32,8	85,1
		13,3	114,4	44,3	80,4
8	0,39	6,0	40,3	10,2	24,9
		6,9	51,2	6,5	43,4
		3,3	42,6	8,6	33,5
		6,7	47,5	14,5	32,3
9	0,44	2,8	40,8	9,5	26,5
		5,1	51,3	5,5	51,6
		2,5	40,8	6,9	30,8
		6,4	35,8	13,4	39,1

ANEXO S- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 30 °C (Continuação).

Tempo (dias)	Solo Argiloso			Solo Arenoso	
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
10	0,50	1,9	50,0	5,9	25,0
		5,8	51,1	5,0	45,1
		2,2	25,1	4,5	29,1
		5,2	25,0	8,0	50,0

*Branco – Sem adição de solo e ureia;

ANEXO T- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 35 °C.

Tempo (dias)	Solo Argiloso		Solo Arenoso		
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
1	0,18	12,5	136,4	409,2	1154,3
		40,6	135,7	329,1	877,3
		21,2	132,1	398,1	1050,4
		11,9	184,4	431,6	1207,0
2	0,33	50,7	109,5	202,6	563,9
		50,9	111,5	203,5	531,9
		65,5	118,5	188,3	510,1
		46,6	119,6	195,1	489,9
3	0,23	38,0	135,9	99,6	250,6
		35,8	146,2	86,2	235,4
		31,2	114,3	93,2	256,3
		36,0	148,5	98,0	290,4
4	0,30	39,8	197,5	70,5	215,2
		39,6	165,7	67,0	211,0
		31,7	220,8	70,8	233,4
		73,1	179,0	70,5	298,7
5	0,22	51,0	120,4	64,3	100,0
		36,1	123,5	64,7	126,5
		41,7	130,8	71,1	144,7
		40,6	123,5	66,2	199,0
6	0,51	22,6	85,0	49,0	82,8
		22,5	103,0	52,7	101,4
		30,4	88,3	53,1	63,3
		25,9	90,9	51,8	67,5
7	0,45	16,9	62,2	37,9	73,1
		18,5	86,2	33,6	74,5
		17,5	55,3	39,4	101,9
		17,8	82,6	38,9	62,1
8	0,39	13,8	66,1	26,6	61,5
		14,7	75,0	28,7	64,3
		22,9	57,4	31,8	31,3
		16,2	69,5	29,4	41,2
9	0,44	10,7	57,2	17,4	35,7
		10,5	61,4	19,8	44,1
		12,7	45,5	21,1	21,0
		12,7	62,7	19,2	61,5

ANEXO T- Valores da volatilização de N-NH₃ (mg N-NH₃ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) para dois tipos de solo, duas concentrações de ureia e quatro réplicas à temperatura de 35 °C (Continuação).

Tempo (dias)	Solo Argiloso		Solo Arenoso		
	*Branco	Conc. ureia (CO(NH ₂) ₂) (g)			
		0,25	0,50	0,25	0,50
10	0,36	11,8	66,6	13,7	34,3
		10,7	51,7	16,1	41,9
		12,3	33,8	16,4	23,8
		12,4	50,2	17,3	54,9

*Branco – Sem adição de solo e ureia;