

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

JULIANA DO NASCIMENTO

**DETERMINAÇÕES DE PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO, FIXAÇÃO E
LIXIVIAÇÃO EM FERTILIZANTES ESPECIAIS**

UBERLÂNDIA

2024

JULIANA DO NASCIMENTO

**DETERMINAÇÕES DE PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO, FIXAÇÃO E
LIXIVIAÇÃO EM FERTILIZANTES ESPECIAIS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Camargo.

Coorientador: Dr. Miguel Henrique Rosa Franco

UBERLÂNDIA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

N244d Nascimento, Juliana do, 1992-
2024 Determinações de perdas por volatilização, fixação e lixiviação em fertilizantes especiais [recurso eletrônico] / Juliana do Nascimento. - 2024.

Orientador: Reginaldo de Camargo.

Coorientador: Miguel Henrique Rosa Franco.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5110>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Camargo, Reginaldo de, 1972-, (Orient.). II. Franco, Miguel Henrique Rosa, 1987-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408



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, 011/2022, PPGAGRO				
Data:	Onze de julho de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	[13:30]
Matrícula do Discente:	12012AGR010				
Nome do Discente:	Juliana do Nascimento				
Título do Trabalho:	Determinações de perdas por volatilização, fixação e lixiviação em fertilizantes especiais.				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Regina Maria Quintão Lana - UFU; Ernane Miranda Lemes - UFU; Carlos André Gonçalves - ILES; Reginaldo de Camargo - UFU orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Reginaldo de Camargo, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, 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):

[A]provado(a).

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 **Reginaldo de Camargo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/07/2022, às 13:44, 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 **Regina Maria Quintão Lana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/07/2022, às 13:52, 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 **Ernane Miranda Lemes, Usuário Externo**, em 12/07/2022, às 10:27, 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 **Carlos André Gonçalves, Usuário Externo**, em 12/07/2022, às 11:23, 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 **3717946** e o código CRC **E6740ACC**.

*À minha amada mãe, Georgina do Nascimento (in memoriam). Exemplo de mulher forte, você me ensinou as melhores lições de vida com amor e dedicação, estará para sempre em meu coração.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por sempre me dar forças e o privilégio de realizar este sonho.

À minha família, à minha irmã Fernanda, ao meu tio João, à minha tia Aparecida, ao meu padrasto José Ricardo e aos meus primos, pela ajuda e carinho de sempre.

Ao Professor Doutor Reginaldo de Camargo, por todo o apoio na realização da dissertação, pela contribuição para o meu crescimento profissional e pela paciência e incentivo durante esses meses de convivência. Ao meu coorientador Doutor Miguel Henrique Rosa Franco, por colaborar, assiduamente, neste trabalho, sempre paciente em esclarecer as dúvidas. Também a todos os amigos da pós-graduação, pelos momentos de descontração e amizade.

Ao Laboratório de Análise de Solos (LABAS), ao Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER), ao Instituto de Ciências Agrárias e à Universidade Federal de Uberlândia, pela estrutura cedida para a realização deste trabalho. Aos funcionários da pós-graduação, pelo atendimento em todas as solicitações. Também a todos os funcionários e professores do Instituto de Ciências Agrárias.

Aos técnicos do LABAS, Jessica e Igor, pela colaboração nas análises de laboratório e pela amizade, sempre com competência e profissionalismo.

Aos estagiários da empresa AGROCP, Myllena Fernandes, Ornelle Christiane, Lara, Vinicius, Daniel Jasmó, Júlio Maia, pela colaboração na realização desta pesquisa. Ao engenheiro agrônomo Ernane Miranda Lemes, pela ajuda nas análises estatísticas.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização das pesquisas. A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, expresso aqui a minha profunda gratidão.

RESUMO

O uso de fertilizantes organominerais pode ser uma alternativa inovadora para a agricultura brasileira, podendo reduzir custos de produção, evitar perdas de nutrientes, otimizar recursos naturais que poderiam ser descartados e ainda gerar economia. Com base nesses pressupostos, objetivou-se neste estudo comparar diferentes tipos de fertilizantes organominerais e minerais no que tange aos seus índices de perdas e eficiência agrônômica. O primeiro ensaio foi composto pela determinação do nitrogênio volatilizado na forma de amônia após a aplicação de vários tipos de fertilizantes nitrogenados no solo. Este estudo foi conduzido em três distintas localidades: na casa de vegetação, na cultura do cafeeiro e no cultivo de milho. Os tratamentos são T1-testemunha, T2-fertilizante organomineral (FOM) com base orgânica em resíduos de celulose granulado 10-10-10, T3-FOM com base orgânica em resíduos de celulose farelado 08-08-08, T4-FOM com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado 10-10-10, T5-FOM com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado 10-10-10, T6-fertilizante mineral 18-18-18, T7-fertilizante mineral polimerizado 15-15-15. No experimento em casa de vegetação e em campo na cultura do cafeeiro, o tratamento FOM com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado foi o que obteve as máximas perdas de amônia quantificadas por volatilização. Já no experimento em campo com a cultura do milho, o tratamento com FOM com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado e o FOM com base orgânica em resíduos de celulose farelados demonstram os maiores índices de perdas. O segundo ensaio o objetivo foi de avaliar a fixação de fósforo (P) pelos solos de textura argilosa e textura média com a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes fosfatados e em diferentes dosagens. O experimento foi conduzido em laboratório do campus Umuarama. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial duplo 4×4, com 4 repetições. O primeiro fator com 4 fontes de fósforo: 1 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelados 05-26-00; 2 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulados 05-26-00; 3 - mineral revestido com polímero e o 4 - mineral. O segundo fator correspondeu a 4 doses de P_2O_5 (0, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P_2O_5). Em todos os extratores utilizados, apresentam maiores resultados de fósforo disponível nos tratamentos com fertilizante organomineral e o mineral polimerizado em relação ao com o fertilizante mineral convencional. Com o fósforo mais disponível na solução do solo, houve então uma menor fixação do fósforo quando foram utilizados os fertilizantes organominerais e o mineral polimerizado, que demonstram uma proteção física e química proporcionada por esses fertilizantes. O terceiro ensaio foi apresentado com o objetivo analisar a dinâmica de movimentação do potássio (K) e do fósforo (P) no perfil do solo, de acordo com a textura do solo e a fonte do nutriente aplicado. Nas colunas de PVC, foram utilizadas seis fontes de fertilizantes: 1 - sem adubo; 2 - KCl, MAP e ureia - mineral 18-18-18; 3 - mineral especial de base nítrica e amoniacal 16-16-16; 4 - KCl, MAP e ureia - mineral polimerizado 15-15-15; 5 - fertilizante organomineral (FOM) com base orgânica em resíduos de celulose farelada, KCl e MAP 10-10-10; e 6 - FOM com base orgânica em resíduos de celulose granulada, KCl e MAP 08-08-08. O K, nas duas texturas de solo, verificou-se uma maior lixiviação para o K no fertilizante KCl, MAP, ureia - mineral. O P Mehlich-1, na profundidade de 10-20 cm, o fertilizante com KCl, MAP, ureia - mineral, foi o que obteve maior teor em ambos os solos estudados. O P Resina, os maiores valores, nas duas texturas de solos estudados, foram obtidos profundidade de 0-10 cm, se destacando o FOM celulose farelado, KCl e MAP. Conclui-se que os teores de K Mehlich-1, P Mehlich-1 e P Resina foram maiores no solo de textura arenosa quando comparado com o solo de textura argilosa.

Palavra-chave: organominerais; fertilidade; liberação controlada.

ABSTRACT

The use of organomineral fertilizers presents an innovative alternative for Brazilian agriculture, potentially reducing production costs, preventing nutrient losses, optimizing natural resources that could be discarded and still generate economy. Based on these assumptions, this study aims to compare different types of organomineral and mineral fertilizers in terms of their loss rates and agronomic efficiency. The first experiment consisted of determining the volatilized nitrogen in the form of ammonia after applying various types of nitrogenous fertilizers to the soil. This study was conducted in three different locations: in the greenhouse, in the coffee farm and in the maize cultivation. Treatments were T1-control, T2- organomineral fertilizer (OMF) with organic base in cellulose granules residues 10-10-10, T3-OMF with an organic base in cellulose bran residues 08-08-08, T4- OMF with an organic base in pelletized filter cake residue 10-10 10, T5- OMF with an organic base in filter cake bran residue 10-10-10, T6-mineral fertilizer 18-18-18, T7-polymer-coated mineral fertilizer 15-15-15. In the greenhouse and the coffee farm, the OMF with an organic base from pelletized filter cake residues treatment exhibited the maximum ammonia losses quantified by volatilization. In the maize cultivation experiment, the treatment with OMF with an organic base from filter cake bran residues and OMF with an organic base from cellulose bran residue showed the highest losses rates. The second experiment aimed to evaluate the phosphorus (P) fixation in clayey and medium textured soils with application of different types of phosphate fertilizers and in different dosages. The experiment was conducted in the Umuarama campus laboratory. The experimental design was completely randomized (CRD) with a double 4×4 factorial scheme, with 4 replications. The first factor corresponds to 4 phosphorus sources: 1 - organomineral fertilizer with an organic base from cellulose bran residues 05-26-00; 2 - organomineral fertilizer with an organic base from cellulose granules residues 05-26-00; 3 - polymer-coated mineral and 4 - mineral. The second factor corresponds to 4 doses of P₂O₅ (0, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ of P₂O₅). In all used extractors, the higher results of phosphorus availability was shown in treatments with organomineral fertilizer and polymer-coated mineral compared to the conventional mineral fertilizer. With more phosphorus available in the soil solution, there was a lower phosphorus fixation when the organomineral fertilizers and the polymer-coated mineral were used, which demonstrate a physical and chemical protection provided by these fertilizers. The third experiment aimed to analyze the movement dynamics of potassium (K) and phosphorus (P) in the soil profile, considering the soil texture and the source of the applied nutrient. In the PVC columns, six sources of fertilizers were used: 1 - no fertilizer; 2 - KCl, MAP and Urea - mineral 18-18-18; 3 - special nitric and ammonia-based mineral 16-16-16; 4 - KCl, MAP and Urea - polymer-coated mineral 15-15-15; 5 - organomineral fertilizer (OMF) with an organic base in cellulose bran residues, KCl and MAP 10-10-10; and 6 - OMF with an organic base in cellulose granules residues, KCl and MAP 08-08-08. In both soil textures, there was a greater leaching for K in the fertilizer KCl, MAP, Urea - mineral. For P Mehlich-1, at a 10–20 cm depth, the fertilizer with KCl, MAP, urea - mineral obtained the highest content in both studied soils. The P Resin, the highest values in the two studied soil textures, were obtained at a 0-10 cm depth, highlighting the cellulose bran OMF, KCl and MAP. It is concluded that the concentration of K Mehlich-1, P Mehlich-1 and P Resin were higher in sandy soil when compared to clay soil.

Keywords: organo-minerals; fertility; controlled release.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Câmara coletora de amônia semiaberta livre estática (SALE)	35
Figura 2 - Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022	41
Figura 3 - Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022	44
Figura 4 - Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022	48
Figura 5 - Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022	50
Figura 6 - Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Uberlândia/MG, 2022	58
Figura 7 - Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Uberlândia, 2022 ..	60
Figura 8 - Teores de fósforo (Resina) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) textura argilosa	81
Figura 9 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt)	83
Figura 10 - Teores de fósforo (Remanescente) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) textura argilosa	86
Figura 11 - Colunas de PVC do Experimento de Lixiviação dos Nutrientes	98
Figura 12 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) textura arenosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm	104
Figura 13 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) textura argilosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm	106
Figura 14 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) textura arenosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm	109
Figura 15 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) textura argilosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm	111

Figura 16 - Teores de fósforo (Resina) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) textura arenosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm	114
Figura 17 - Teores de fósforo (Resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) textura argilosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos e formulações do experimento de volatilização utilizados em casa de vegetação, cafeeiro e milho. Uberlândia/MG, 2022	36
Tabela 2 - Precipitação (mm) nas datas de coletas aos 1,2,3,4,5,6,8,10,12,16 e 21 após a instalação. Uberlândia/MG, 2022	37
Tabela 3 - Valores médios de amônia volatilizados capturado em 18 dias em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022	41
Tabela 4 - Teores médios de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total obtidos após 18 dias da aplicação dos fertilizantes no solo, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022.....	45
Tabela 5 - Valores médios de amônia volatilizados capturado em 21 dias em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022.....	47
Tabela 6 - Teores médios de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total obtidos após 21 dias da aplicação dos fertilizantes no solo, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022	51
Tabela 7 - Valores médios da atividade acumulada, atividade diária, carbono da biomassa microbiana (CBM) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022.....	53
Tabela 8 - Valores médios da umidade, β -glicosidase, arilsulfatase e o urease na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022	55
Tabela 9 - Valores médios de amônia volatilizados capturado em 21 dias em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na cultura do milho. Uberlândia/MG, 2022.....	57
Tabela 10 - Teores médios de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total obtidos após 21 dias da aplicação dos fertilizantes no solo, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Uberlândia/MG, 2022.....	61
Tabela 11 - Caracterização química e física do solo após correção com calcário. Uberlândia/MG, 2022.....	76
Tabela 12 - Formulações e os valores de cada fonte. Uberlândia/MG, 2022.....	77
Tabela 13 - Teores de Fósforo (Resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	80

Tabela 14 - Teores de fósforo (Mehlich-1) no Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), textura média. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	82
Tabela 15 - Teores de fósforo (Remanescente) Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	85
Tabela 16 - Caracterização química e física do solo antes a correção da acidez. Uberlândia/MG, 2022	97
Tabela 17 - Formulações, doses e tratamentos utilizados no experimento de lixiviação em solos arenoso e argiloso. Uberlândia/MG, 2022.....	98
Tabela 18 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	102
Tabela 19 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	105
Tabela 20 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	108
Tabela 21 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	110
Tabela 22 - Teores de fósforo (Resina) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	113
Tabela 23 - Teores de fósforo (Resina) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022	115

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1	16
REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
1 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
1.1 Fertilidade do solo	17
1.2 A importância dos fertilizantes sustentáveis	17
1.2.1 Características dos fertilizantes especiais.....	18
1.2.2 Características dos fertilizantes organominerais	19
1.3 Indicadores de qualidade biológica do solo.....	21
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 2	29
USO DA CÂMARA SEMIABERTA ESTÁTICA PARA QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA VOLATILIZADA DO SOLO COM A APLICAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZANTES	29
RESUMO	30
ABSTRACT	31
1 INTRODUÇÃO.....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 Localização e caracterização experimental	34
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	35
2.3 Instalação e condução do experimento	36
2.4 Análises estatísticas	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1 Casa de vegetação.....	40
3.1.1 Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização na casa de vegetação	40
3.1.2 Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização em casa de vegetação.....	43
3.1.3 Teores de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total na casa de vegetação	44
3.2 Cafeeiro	46
3.2.1 Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização no cafeeiro.....	46
3.2.2 Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização no cafeeiro	48
3.2.3 Teores de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total no cafeeiro.....	50
3.2.4 Atividade microbiana do solo no cafeeiro	52

3.2.5 Atividade bioquímica do solo no cafeeiro	54
3.3 Milho	56
3.3.1 Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização no milho	56
3.3.2 Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização no milho	58
3.3.3 Teores de nitrato (NO ₃ ⁻), amônio NH ₄ ⁺ e nitrogênio total no milho	60
4 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
CAPÍTULO 3	71
DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES FOSFATADOS	71
RESUMO	72
ABSTRACT	73
1 INTRODUÇÃO	74
2 MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1 Localização e caracterização experimental	76
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	77
2.3 Instalação e condução do experimento	77
2.4 Análises estatísticas	78
3 Resultados e discussão	79
3.1 Fósforo (extrator resina)	79
3.2 Fósforo (extrator mehlich 1)	81
3.3 Fósforo (extrator remanescente)	84
4 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	89
CAPÍTULO 4	93
LIXIVIAÇÃO DOS NUTRIENTES EM COLUNAS, EM FUNÇÃO DA TEXTURA, DA DISPONIBILIDADE E DAS FONTES DOS NUTRIENTES APLICADOS AOS SOLOS ..	93
RESUMO	94
ABSTRACT	95
1 INTRODUÇÃO	96
2 MATERIAL E MÉTODOS	97
2.1 Localização e caracterização experimental	97
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	97
2.3 Instalação e condução do experimento	98

2.4 Análises estatísticas	100
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
3.1 Potássio (extrator mehlich-1) no Neossolo Quartzarênico Órtico (RQO) textura arenosa	101
3.2 Potássio (extrator mehlich-1) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVD) textura argilosa	104
3.3 Fósforo (extrator mehlich-1) no Neossolo Quartzarênico Órtico (RQO) textura arenosa	107
3.4 Fósforo (extrator mehlich-1) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVD) textura argilosa	109
3.5 Fósforo (extrator resina) no Neossolo Quartzarênico Órtico (RQO) textura arenosa	111
3.6 Fósforo (extrator resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVD) textura argilosa.....	114
4 CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS	119

INTRODUÇÃO GERAL

Em termos de fertilizantes minerais convencionais, eles podem causar graves danos ao meio ambiente se forem mal utilizados e aplicados em excesso. Esses nutrientes podem ser perdidos pelos processos de volatilização, lixiviação e adsorção, resultando na acidificação dos solos e na degradação desses nutrientes (Lopes, 1998).

Assim sendo, a procura por fertilizantes alternativos é causada pelo alto custo dos fertilizantes minerais (Portugal *et al.*, 2016). Os fertilizantes de liberação lenta são as novas opções para lidar com essas limitações. Esses produtos liberam os nutrientes de maneira lenta, devido à presença de resinas orgânicas que envolvem os grânulos, solubilizando os nutrientes em seu interior (Almeida *et al.*, 2012).

A indústria de fertilizantes tem experimentado diversos produtos para aumentar a eficiência dos fertilizantes na disponibilização de nutrientes. Diversos revestimentos são usados em fertilizantes, como o enxofre elementar e o encapsulamento com polímeros (Cantarella *et al.*, 2007).

Na evolução de fertilizantes específicos, pode-se diminuir as perdas potenciais e aumentar a eficiência do produto criando itens lentos ou controlados (Reetz, 2017).

Dessa forma, os fertilizantes organominerais são uma alternativa viável para substituir os insumos agrícolas altamente salinos e acidificantes, que, a longo prazo, podem causar danos às características físicas e biológicas do solo, resultando na diminuição da capacidade produtiva das plantas (Peres; Terra; Rezende, 2020).

Os fertilizantes organominerais são encontrados nas formas granuladas, fareladas ou peletizadas. A característica de liberação lenta, também chamada de *slow release*, protege contra perdas de potássio e nitrogênio por lixiviação, impede a interação imediata do fósforo com óxidos presentes no solo e reduz a perda desses nutrientes por adsorção (Fernandes *et al.*, 2020).

Os fertilizantes organominerais liberam os nutrientes lentamente, o que indica que eles permanecem mais tempos no solo (Aguilar *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2020). Os fertilizantes apresentam resultados semelhantes ou superiores no desenvolvimento das plantas, fornecendo nutrientes, substituindo o fertilizante mineral e melhorando a fertilidade do solo (Magela *et al.*, 2019).

Dessa forma, este estudo foi desenvolvido para analisar os fertilizantes organominerais em relação ao fertilizante mineral sobre os fatores de perda dos nutrientes por volatilização, fixação de fósforo e lixiviação.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 FERTILIDADE DO SOLO

A baixa fertilidade é uma das principais razões para os baixos índices de produtividade nas áreas destinadas à produção de grãos e pastagens. Essa realidade não se limita apenas aos baixos níveis de nutrientes nos solos, mas também ao uso inadequado dos fertilizantes minerais (Valderrama *et al.*, 2011). Além disso, os solos brasileiros apresentam além da baixa fertilidade natural, a necessidade de adubação para a produção (Candido *et al.*, 2013).

A produção agrícola é influenciada, entre outros fatores, pelos atributos do solo, que foram férteis ou se tornaram férteis devido ao manejo adequado. Dessa forma, é preciso compreender e estimar a variação das propriedades químicas, uma vez que os sistemas dinâmicos e abertos estão em constante evolução (Dalchiavon *et al.*, 2011; Montanari *et al.*, 2015).

Em solos tropicais e subtropicais extremamente intemperizados e florestais, alguns elementos são cruciais para a capacidade produtiva: a retenção de cátions, a complexidade de elementos tóxicos e micronutrientes, a estabilidade estrutural, a infiltração e a retenção de água, a aeração e a atividade de biomassa microbiana. A quantidade de matéria orgânica presente no solo é importante para a manutenção e reciclagem da vitalidade dos biomas (Loss, 2011).

A adubação adequada é crucial para a nutrição adequada da planta, de forma a atender às suas necessidades no estágio adequado. O milho, por exemplo, é uma cultura cuja produtividade máxima requer a satisfação das necessidades nutricionais, devido à grande extração de nutrientes do solo. Na produção de grãos e na silagem, a planta deve dispor de nutrientes de acordo com a expectativa de produtividade, fornecidos pelo solo e pela reposição das adubações (Coelho; França; Bahia Filho, 1991).

1.2 A IMPORTÂNCIA DOS FERTILIZANTES SUSTENTÁVEIS

De acordo com Reetz (2017), para suprir a demanda necessária para a população em 2050, será necessário usar fertilizantes não somente de forma sustentável, mas também para melhorar o cultivo agrícola e causar menos impacto ao meio ambiente.

Borges (2018) argumenta que, no que diz respeito à nutrição de plantas, novos produtos ou métodos para aprimorar o manejo de nutrientes tornam-se extremamente relevantes para o fortalecimento do meio ambiente. Atualmente, as preocupações estão voltadas para o

desenvolvimento de um fertilizante ecologicamente correto, ou seja, que garanta um funcionamento eficiente como nutriente sem agredir o meio ambiente.

Consoante Brasil (2021) relata que foi aprovado um código que estabelece práticas benéficas para a humanidade enquanto mantém os impactos no clima do planeta, definindo papéis, responsabilidades e ações para prevenir o uso indevido de fertilizantes e seus possíveis efeitos negativos na saúde humana e no meio ambiente.

Todos os setores da indústria devem buscar soluções ambientalmente sustentáveis em resposta às crescentes preocupações em relação aos efeitos do aquecimento global. Dessa forma, requer-se a inclusão de fertilizantes organominerais. É possível produzir fertilizantes a partir de resíduos agrícolas e agroindustriais com baixa densidade econômica. As características principais desses “fertilizantes especiais” são uma liberação lenta de nutrientes, uma melhora da atividade microbiológica do solo e um menor custo de aplicação (Kinpara, 2020).

Os fertilizantes lentos e/ou controlados visam retardar a liberação de espécies, ou íons, presentes no solo, significando um aumento da vida útil das estruturas presentes nas plantas, assegurando um melhor desenvolvimento das plantas (Borges, 2018).

1.2.1 Características dos fertilizantes especiais

No ano de 2019, o mercado de fertilizantes especiais cresceu 41,8%, passando de R\$ 7,1 bilhões para mais de R\$ 10 bilhões. Diversos fatores podem explicar o bom desempenho do setor em 2020, como: o aumento da adoção desses produtos pelos agricultores foi motivado por expectativas de rentabilidade favoráveis; uma relação de troca favorável para os produtores na aquisição de insumos; o aumento do valor dos produtos devido à evolução tecnológica; e os reajustes nos preços de venda provocados pelo aumento dos preços de matérias-primas, insumos e serviços (Abisolo, 2021).

Algumas companhias comercializam fertilizantes que contêm um tipo específico de polímero. Esses fertilizantes são denominados especiais. Os fertilizantes apresentam propriedades de liberação controlada, sendo referidos como fertilizantes que estão associados a inibidores de urease e nitrificação (Trenkel, 2010).

De acordo com Abisolo (2021), os fertilizantes especiais apresentam características que os diferenciam dos fertilizantes convencionais. Essas características promovem um desempenho superior, estabilidade, eficiência ou facilidade de manejo.

A utilização de fertilizantes especiais e de liberação lenta tem aumentado significativamente devido ao aumento da eficiência de utilização e às melhorias nas

características físico-químicas do solo, resultando em um aumento na produção de produtos agrícolas (Lemos, 2017).

Os fertilizantes minerais “especiais” são aqueles que além de fornecer nutrientes, contêm adição de aditivos, agentes complexantes ou quelantes, são 100% hidrossolúveis e têm liberação controlada (Abisolo, 2021).

1.2.2 Características dos fertilizantes organominerais

De acordo com Nascentes et al. (2016), a melhoria da eficiência agrônômica dos fertilizantes é necessária. Algumas companhias fornecem uma linha de fertilizantes organominerais, compostos por uma mistura de resíduos orgânicos, geralmente resíduos agrícolas e animais, com uma pequena porcentagem mineral. Eles são submetidos ao processo de compostagem e, posteriormente, são transformados em pellets, farelos ou grânulos. A parte orgânica do fertilizante mantém o material ligado, condiciona o solo e fornece micronutrientes, enquanto a fase mineral é responsável pela nutrição da planta.

A Instrução Normativa nº 23 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, de 13 de agosto de 2005, define o adubo organomineral como “o produto obtido mediante uma mistura física ou química de fertilizantes minerais e orgânicos”. No entanto, as especificações, garantias e características atuais dos fertilizantes organominerais sólidos para a aplicação no solo estão descritas no Capítulo III da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, seção V, artigo 8º, parágrafo 1º. Os fertilizantes organominerais sólidos devem apresentar, no mínimo, os seguintes requisitos: 8% de carbono orgânico; CTC de 80 mmolc kg⁻¹; 10% de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em mistura (NP, NK, PK ou NPK); 5% de macronutrientes secundários e 20% de umidade máxima (Brasil, 2009).

A utilização de fertilizantes organominerais é uma solução tecnológica de natureza agrônômica e ambiental. A utilização deste fertilizante tornou-se uma alternativa inovadora para a produção de grãos. Isso se deve ao fato de você poder reduzir os custos de produção, aumentar a utilização de recursos naturais que não foram descartados e, ao mesmo tempo, gerar economia (Costa, 2017).

A matéria orgânica presente no fertilizante organomineral estimula a microbiota do solo, liberando os minerais gradualmente para as plantas. Isso reduz os parcelamentos de adubação devido à diminuição da quantidade de mineral perdida por meio da volatilização de nitrogênio, da fixação de fósforo e da lixiviação de potássio (Nascentes *et al.*, 2016).

De acordo com Timossi *et al.* (2016), Malaquias e Santos (2017), o uso de fertilizantes organominerais tem aumentado nos últimos anos, principalmente devido à limitação dos custos

associados aos fertilizantes minerais, à alta concentração de nutrientes e às vantagens que a matéria orgânica oferece ao solo. Dessa forma, na agricultura, eles são usados como uma alternativa ou complemento à adubação mineral.

A aplicação de fertilizantes organominerais pode contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e, sobretudo, aumentar a absorção de nutrientes, ao mesmo tempo, em que reduz as perdas devido à sua solubilidade mais lenta (Kiehl, 2008).

Além disso, existe uma grande variedade de fertilizantes organominerais no mercado. Na agricultura, o uso de resíduos agrícolas é uma opção economicamente viável e benéfica para o meio ambiente. A fertilização do solo permite a recuperação de diversos elementos químicos, como N, P e K, bem como o desenvolvimento da estrutura do solo, aumentando a produtividade e a qualidade dos alimentos (Alonso, 2021).

Apesar disso, a maioria dos fertilizantes usados em todo o mundo provém de fontes não renováveis e minerais solúveis. Os benefícios do seu uso são a disponibilidade de nutrientes fornecidos pelo fertilizante, permitindo a incorporação de áreas que, anteriormente, eram deficientes em nutrientes. Contudo, a obtenção desses fertilizantes requer abundância de energia e pode causar problemas ambientais. A mobilidade pode causar perdas, contaminação por metais pesados e eutrofização de recursos hídricos. O Brasil apresenta o mesmo cenário: 88% do N, 63% do P_2O_5 e 97% do K_2O usados na agricultura são importados (Anda, 2018).

Os fertilizantes minerais foram introduzidos há cerca de 150 anos, mas, antes disso, a agricultura tradicional utilizava compostos e esterco como fontes externas de nutrientes. As novas tecnologias agrícolas reduziram o uso de fertilizantes orgânicos em relação aos minerais. O uso simultâneo e sustentável de resíduos agrícolas, urbanos e industriais está ganhando força devido ao aumento nos preços dos fertilizantes minerais e ao declínio significativo na qualidade do solo (Oliveira; Aquino; Castro Neto, 2005).

A adição de um componente orgânico à adubação aumenta a capacidade de troca catiônica, reduzindo a perda de nutrientes por lavagem e aumentando o uso de fertilizantes nas plantas. Isso significa que os organominerais liberam nutrientes com maior rapidez do que os fertilizantes sintéticos (Loss, 2011; Molina, 1995).

A adubação química proporciona um aumento significativo na produtividade da planta de forma significativa e rápida. Contudo, o uso contínuo desses fertilizantes pode causar danos à qualidade nutricional e às propriedades químicas do solo, o que pode resultar em uma redução da produtividade (Abreu *et al.*, 2010).

A principal dificuldade em usar fertilizantes organominerais nesse cenário é assegurar e facilitar a manutenção da matéria orgânica no solo. Isso também permite a oferta e absorção

de um excesso de nutrientes necessários para as plantas em um curto espaço de tempo, além de reduzir as perdas por adsorção, lixiviação ou volatilização (Magela, 2017).

Dessa forma, o fertilizante organomineral visa diminuir os custos de fertilizantes e melhorar a qualidade do solo, além de auxiliar no uso sustentável de insumos agrícolas e melhorar o aproveitamento eficiente de nutrientes nos fertilizantes (Lin *et al.*, 2019; Mota *et al.*, 2018; Song *et al.*, 2017).

O fertilizante organomineral prepara o solo para os nutrientes permanecerem mais ativos nas plantas. Isso aumenta a produção no sistema e a ciclagem da colheita, além de aumentar o teor de matéria orgânica no solo. A falta de matéria orgânica está relacionada à diminuição de macronutrientes. A adição de NPK ao solo através do uso de organominerais proporciona um aumento de eficiência de 20% em relação aos fertilizantes convencionais (Cruz; Pereira; Figueiredo, 2017).

1.3 INDICADORES DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO

A qualidade do solo é determinada pelo uso da terra para assegurar a produtividade biológica, preservar a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais, além da capacidade de operar dentro dos limites do ecossistema (Bünemann *et al.*, 2018).

A definição de saúde do solo foi desenvolvida para avaliar a condição do solo após tratamentos específicos. De acordo com Sarmiento, Fandino e Gomez (2018) e Cavalcante *et al.* (2020), a aplicação de indicadores está relacionada à descrição da funcionalidade do solo, indicando os problemas existentes nas áreas avaliadas e direcionando a recuperação do solo.

Raiesi e Beheshti (2014) apresentam alguns exemplos de parâmetros de qualidade do solo, como o carbono da biomassa microbiológica, atividades enzimáticas e respiração basal. Esses indicadores são fundamentais para analisar os efeitos das mudanças no uso da terra e no cultivo. A biomassa microbiana e as enzimas são mais rápidas que outras variações do solo para causar problemas nas plantações ou mudanças nas condições ambientais.

Os parâmetros para caracterizar o componente biológico do solo e avaliar sua saúde e qualidade são a atividade enzimática e a biomassa microbiana. Além dos indicadores físicos e biológicos, os químicos também são usados para avaliar a qualidade do solo (Araújo *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2018).

Como o nome indica, a biomassa microbiana do solo é medida pelo número de microrganismos presentes no solo. É expressa em miligramas de carbono, nitrogênio e fósforo (P) nos microrganismos por quilograma de solo. A biomassa é a parte mais viva e dinâmica da

matéria orgânica do solo, composta, sobretudo, por fungos, bactérias e actinomicetos. Apesar de sua relevância para a composição total da matéria orgânica do solo, o tamanho dos componentes vivos varia entre 1% e 5%, de acordo com Smith e Paul (1990).

A ação metabólica intracelular não se limita às enzimas, abrangendo também a matéria orgânica e as estruturas do solo. Existem evidências de que as análises de atividade enzimática podem ser usadas para identificar indicadores de alta sensibilidade, como β -glicosidase e arilsulfatase (Green *et al.*, 2007; Mendes *et al.*, 2003; Peixoto *et al.*, 2010).

REFERÊNCIAS

- ABISOLO. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia Em Nutrição Vegetal. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**, 2021. Disponível em: <https://www.abisolo.com.br>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- ABREU, Ingergleice Machado de Oliveira; JUNQUEIRA, Ana Maria Resende; PEIXOTO, José Ricardo; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. **Ciência Tecnologia Alimentos** **30**, Campinas, v. 30, p. 108-118, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/chTVtChmRcDR8pKJkMzwLfx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- AGUILAR, Ariel Santivañez; CARDOSO, Atalita Francis; LIMA, Luara Cristina; LUZ, José Magno Queiroz; RODRIGUES, Talisson; LANA, Regina Maria Quintão. Influence of organomineral fertilization in the development of the potato crop CV. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 1, 2019. DOI: 10.14393/BJ-v35n1a2019-41740. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/41740>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- ALMEIDA, Luciana Venturotti Braun de; MARINHO, Cláudia Sales; MUNIZ, Rodrigo de Almeida; CARVALHO, Almy Júnior Cordeiro de. Disponibilidade de nutrientes e crescimento de porta-enxertos de citros fertilizados com fertilizantes convencionais e de liberação lenta. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 289-296, mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100038>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/tSg6NCm9qshFGWwF75XNrcr/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- ALONSO, João Pedro Jacó. **Fertilização de café em um sistema agroflorestal no Cerrado Mineiro (Monte Carmelo, MG)**. 2021. 31 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- ANDA. Setor de Fertilizantes. Anuário Estatístico: balanço de fertilizantes em nutrientes. **Agência Nacional de Águas**, 2018. Disponível em: <http://anda.org.br/>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- ARAÚJO, Edson Alves de; KER, João Carlos; NEVES, Júlio César Lima; LANI, João Luiz. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, jan.-abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5777/paet.v5i1.1658>. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1658/1686>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- BORGES, Roger. **Desenvolvimento de potenciais fertilizantes sustentáveis de liberação lenta a partir da ativação mecanoquímica de matrizes lamerales naturais ou sintéticas e mono-hidrogênio fosfatado de potássio**. 2018. 230 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 25 de julho de 2009**. Diário Oficial, Brasília, DF, n. 142, Seção 1, p. 20. 28 jul. 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view. Acesso em: 24 jan. 2024.

BÜNEMANN, Else K.; BONGIORNO, Giulia; BAI, Zhanguo G.; CREAMER, Rachel; DEYN, Gerlinde B.; GOEDE, Ron G. M.; FLESKENS, Luuk; GEISSEN, Violette; KUIJPER, Thom W.M.; MÄDER, Paul; PULLEMAN, Mirjam M.; SUKKEL, Wijanand J.W.; GROENIGEN, Jan Willem van; BRUSSAARD, Lijbert. Soil quality—A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/441556>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CANDIDO. Amarilson de Oliveira; TOMAZ, Marcelo Antonio; SOUZA, Ademar Leandro de; AMARAL, José Francisco Teixeira do; RANGEL, Otacilio José Passos. Fertilizantes organominerais no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica. *In: VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Anais...* Salvador, 2013. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3776/141_VIII-SPCB-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 24 jan. 2024.

CANTARELLA, Heitor. Nitrogenio [Nitrogen]. *In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (orgs.). Fertilidade do solo.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CAVALCANTE, Wilaneide Ferreira; SILVA, Lidiane Roberta Cruz da; SILVA, Euzanyr Ggomes da; OLIVEIRA, João Tiago Correia; MOREIRA, Keila Aparecida. Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 142-150, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n116rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/rX4VLQ45xwPnYmgFnqcqYYz/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

COELHO, Antonio M.; FRANÇA, Gonçalo E. de; BAHIA FILHO, Antônio F. C. Nutrição e adubação do milho forrageiro. *In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção.* Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1991. p. 29-73.

COSTA, Flávio de Kassius Domingos. **Desempenho agrônômico da soja convencional cultivada com fertilizantes organomineral e mineral.** 2017. 34 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2017.

CRUZ, André Camargo; PEREIRA, Felipe dos Santos; FIGUEIREDO, Vinicius Samu. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **BNDES Setorial**, v. 1, p. 137-187, 2017. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11814/1/BS%2045%20Fertilizantes%20organominerais%20de%20res%C3%ADduos%20%5B...%5D_P_BD.pdf. Acesso em: 24 jan. 2024.

DALCHIAVON, Flávio Carlos; CARVALHO, Morel de Passos; NOGUEIRA, Débora Cristiane; ROMANO, Daniele; ABRANTES, Fabiana Lima; ASSIS, Juliana Teodora de; OLIVEIRA, Mário Sérgio de. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do

solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8351>. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/8351>. Acesso em: 24 jan. 2024.

FERNANDES, Pedro Henrique; PORTO, Douglas William Batista; FRANÇA, André Cabral; FRANCO, Miguel Henrique Rosa; MACHADO, Caroline Maira Miranda. Uso de fertilizantes organominerais fosfatados no cultivo da alface e de milho em sucessão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 37907-37922. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-365>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11735>. Acesso em: 24 jan. 2024.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, J. C.; CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, New York, v. 92, p. 114-121, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2006.01.004>. Disponível em: <https://pubag.nal.usda.gov/download/9977/pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes Organominerais**. 2ª ed. Piracicaba: Degaspari, 2008.

KINPARA, Daniel Ioshiteru. **Aspectos econômicos de fertilizantes organominerais obtidos a partir de cama de frango e de torta de filtro de cana-de-açúcar no Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020. 25 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1130402/1/Doc-360-Daniel-Kinpara-web.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

LEMOS, L. B. Milho: a utilização de produtos com liberação controlada e fertilizantes organominerais tem aumentado significante, reduzindo perdas e melhorando o solo. *In*: **Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal**. Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal. São Paulo: Abisol, 2017.

LIN, Weiwei; LIN, Manhong; ZHOUN, Hongyan; WU, Hongmiao; LI, Zhaowei; LIN Wenxiong. The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. **Plos one**, v. 14, n. 5, e0217018, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217018>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0217018>. Acesso em: 24 jan. 2024.

LOPES, Alfredo Scheid. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e adaptação. Instituto da Potassa & Fosfato. 2. ed., rev. e ampl. Piracicaba: Potafos, 177 p. 1998. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Manual-Internacional-de-Fertilidade-do-Solo.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

LOSS, Arcângelo. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

MAGELA, Mara Lúcia Martins. **Fontes de matéria orgânica na composição de fertilizantes organominerais peletizados na cultura do milho**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017.

MAGELA, Mara Lúcia Martins; CAMARGO, Reginaldo de; LANA, Regina Maria Quintão; CARVALHO, Melissa Cristina de. Application of organomineral fertilizers sourced from filter cake and sewage sludge can affect nutrients and heavy metals in soil during early development of maize. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 863, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.06.p1538>. Disponível em: https://www.cropj.com/magela_Suppl_13_6_2019_863_873.pdf. Acesso em: 24 jan. 2024.

MALAGUIAS, Carlos Arnaldo Alcantara Malaquias; SANTOS, Alessandro José Marques. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho. **Pubvet**, v. 11, n. 5, p. 501-512, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.501-512>. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/1329/1329>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MENDES, Iêda Carvalho *et al.* Biological properties of aggregates from a Cerrado oxisol under conventional and no-till management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 27, p. 435-443, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300005>. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/article/biological-properties-of-aggregates-from-a-cerrado-oxisol-under-conventional-and-no-till-management-systems/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MENDES, Iêda Carvalho; SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; REIS JUNIOR, Fábio Bueno; LOPES, André Alves de Castro. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. EMBRAPA. **Circular Técnica**, 38. Planaltina, DF. p. 24. 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-Ieda-Mendes.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MOLINA, R. M. **A torta de filtro e o bagaço no comportamento da biota, propriedades físicas e produtividade de um solo cultivado em cana-de-açúcar**. 1995. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1995.

MONTANARI, Rafael; PANACHUKI, Elói; LOVERA, Lenon Henrique; CORREA, Adriany Rodrigues; OLIVEIRA, Israel Souza; QUEIROZ, Hernandes Andrade; TOMAZ, Pamela Kerlyane. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 385-396, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140215>. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/pt-br/article/variabilidade-espacial-da-produtividade-de-sorgo-e-de-atributos-do-solo-na-regiao-do-ecotono-cerrado-pantanal-ms/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MOTA, Raquel Pinheiro; CAMARGO, Reginaldo de; LEMES, Ernane Miranda; LANA, Regina Maria Quintão; ALMEIDA, Risely Ferraz de; MORAES, Emmerson R. Biosolid and sugarcane filter cake in the composition of organomineral fertilizer on soybean responses. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, p. 1-7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0237-3>. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900294195>. Acesso em: 24 jan. 2024.

NASCENTES, P. R. C.; MAGALHÃES, C. E. O.; SILVA FILHO, M. J. DA; FERREIRA, G. L.; CINTRA, R. M. Avaliação da eficiência do fertilizante organomineral Valoriza no desenvolvimento e produtividade do cafeeiro *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 42., 2016, Serra Negra. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café,

2016. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9867/422_42-CBPC-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 24 jan. 2024.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; AQUINO; Adriana Maria de; CASTRO NETO; Manoel Teixeira. Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico. Circular 76. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**, Bahia, dez. 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1022380/1/Compostagemcaseiradelixooorganicodomestico.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek**, Berlin, v. 98, n. 3, p. 403-413, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10482-010-9454-0>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20495870/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PERES, Liliane Aparecida Cardoso; TERRA, Nathanael Fidelis; REZENDE, Claudia Fabiana Alves. Produtividade do tomate industrial submetido a adubação organomineral em cobertura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 10586-10599. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-075>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7416>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PORTUGAL, José Roberto; TARSITANO, Maria Aparecida; PERES Amanda Ribeiro; ARF, Orivaldo; GITTI, Douglas de Castilho. Organic and mineral fertilizer application in upland rice irrigated by sprinkler irrigation: economic analysis. **Cientifica**, Jaboticabal, v. 44, n. 2, p. 146-155, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n2p146-155>. Disponível em: <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/748/486>. Acesso em: 24 jan. 2024.

RAIESI, Fayez; BEHESHTI, Ali. Soil C. turnover, microbial biomass and respiration, and enzymatic activities following rangeland conversion to whe at-alfalfa cropping in a semiarid climate. **Environmental Earth Sciences**, Alemanha, v. 72, n. 12, p. 5073- 5088, 2014. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62940>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/4z37PgJ56mJ9fsnYksVXKPg/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SARMIENTO, E.; FANDINO, S.; GOMEZ, L. Indexes of soil quality. A systematic review. **Ecosistemas**, Móstoles, v. 27, n. 3, p. 130-139, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62940>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/4z37PgJ56mJ9fsnYksVXKPg/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SMITH, Jean-Marc L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. *In*: BOLLAG, J.; STOTZKY, D.G. (orgs.). **Soil biochemistry**. New York: M. Dekker, p. 357-396. 1990. Disponível em:

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203739389-7/significance-soil-microbial-biomass-estimations-smith-paul>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SONG, Ke; XUE, Yong; ZHENG, Xianqing; LV, W.; QIAO, Hongxia; QIN, Qin; YANG, Jianjun. Effects of the continuous use of organic manure and chemical fertilizer on soil inorganic phosphorus fractions in calcareous soil. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1164, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01232-2>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316463227_Effects_of_the_continuous_use_of_organic_manure_and_chemical_fertilizer_on_soil_inorganic_phosphorus_fractions_in_calcareous_soil. Acesso em: 24 jan. 2024.

SOUZA, Marliezer Tavares; FERREIRA, Suellen Rodrigues; MENEZES, Felipe Garcia; RIBEIRO, Ludmila Silva; SOUSA, Israel Mendes; PEIXOTO, Joicy Vitória Mirana; SILVA, Rodrigo Vieira da; MORAES, Emmerson Rodrigues. Altura de planta e diâmetro de colmo em cana-de-açúcar de segundo corte fertilizada com organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1988-1994, 2020. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-141>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6103>. Acesso em: 24 jan. 2024.

TIMOSSI, P. C.; SILVA JÚNIOR, Hilton Rosa da; LIMA, Suzete Fernandes; CASTRO, Ronaldo. Adubação antecipada com fertilizantes orgânico e mineral associado à crotalárias na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p.499-508, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/rbms.v15i3.600>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320598377_ADUBACAO_ANTECIPADA_COM_FERTILIZANTES_ORGANICO_E_MINERAL_ASSOCIADO_A_CROTALARIAS_NA_CULTURA_DO_MILHO. Acesso em: 24 jan. 2024.

TRENKEL, Me E. **Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture**. 2ª ed. Paris: IFA, 2010. 133 p. Disponível em: https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf. Acesso em: 24 jan. 2024.

VALDERRAMA, Márcio; BUZETTI, Salatiér; BENETT, Cleiton Gredson S; ANDREOTTI, Marcelo; TEIXEIRA FILHO, Marcelo Carvalho Minhoto. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i2.8390>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/WvLqT7v9CMvk9BWTynZpShn/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CAPÍTULO 2

USO DA CÂMARA SEMIABERTA ESTÁTICA PARA QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA VOLATILIZADA DO SOLO COM A APLICAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZANTES

RESUMO

Na produção de alimentos, tornou-se necessário usar fertilizantes nitrogenados. Os fertilizantes perdem nitrogênio devido à volatilização da amônia. Para fazer fertilizantes nitrogenados mais eficientes, é preciso estudar mais sobre a tecnologia. O objetivo desta pesquisa foi determinar o teor de nitrogênio volatilizado em forma de amônia após a aplicação de diversos tipos de fertilizantes. A pesquisa foi conduzida no campus Glória e no laboratório de fertilidade do solo no campus Umuarama da UFU. Este experimento foi dividido em três partes (casa de vegetação, no cultivo do cafeeiro e no cultivo do milho). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, contidos por diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados. As coletas foram realizadas através do coletor SALE aos dias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 21 após a aplicação, com 4 repetições. Na casa de vegetação, as elevadas taxas diárias de perdas de amônia por volatilização foram para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos celulose (farelado e granulada). As altas taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização foram para o fertilizante mineral polimerizado e o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado na casa de vegetação. No cultivo do cafeeiro, as maiores taxas diárias de perdas de amônia por volatilização foram para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos torta-de-filtro peletizado e o fertilizante mineral. As máximas taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização foram o fertilizante organomineral com base orgânica com torta-de-filtro farelado, o fertilizante organomineral com base orgânica com torta-de-filtro peletizado e o fertilizante mineral, na cultura do cafeeiro. Na cultura do milho, as crescidas taxas diárias de perdas de amônia por volatilização foram para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelados e o fertilizante com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado. As grandes taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização foram para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelados e o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelados, no cultivo do milho. Para todos os experimentos realizados, o uso de fertilizantes organominerais à base de resíduos de celulose e mineral com polímero promoveu uma proteção satisfatória quanto à volatilização de amônia, quando comparados aos fertilizantes minerais ureia, demonstrando assim um real potencial de fertilizantes quanto à proteção do nitrogênio em ambos os cultivos realizados.

Palavras-chave: nitrogênio; perda; ureia.

ABSTRACT

In food production, the use of nitrogenous fertilizers is essential. However, these fertilizers can lose nitrogen through ammonia volatilization. To improve the efficiency of nitrogenous fertilizers more efficient, it is necessary to study more about the technology. This research aims to determine the volatilized nitrogen level in the form of ammonia after the application of various types of fertilizers. The research was conducted at the Gloria campus and the soil fertility laboratory at Umuarama campus of UFU. This experiment was divided into three parts: greenhouse, coffee farm and maize cultivation. The experimental design was a completely randomized block design with subdivided plots in time, contained by different types of nitrogenous fertilizers. Collections were carried out using the SALE collector on days 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 21 after application, with 4 replications. In the greenhouse, the highest daily rates of ammonia loss due to volatilization were caused by the organomineral fertilizer with an organic base from cellulose residues (ban and granules), while the highest accumulated rates of ammonia loss were caused by the polymer-coated mineral fertilizer and the organomineral fertilizer with an organic base from pelletized filter cake residues. At the coffee farm, the highest daily rates of ammonia loss due to volatilization were observed with organomineral fertilizer with an organic base from pelletized filter cake residues and mineral fertilizer, while the highest accumulated rates of ammonia loss were associated with organomineral fertilizer with an organic base from filter cake bran, pelletized filter cake, and mineral fertilizers. In maize cultivation, the highest daily rates of ammonia loss due to volatilization were caused by the organomineral fertilizer with an organic base from cellulose bran residues and filter cake bran residue, and the highest accumulated rates were also linked to the organomineral fertilizer with an organic base from filter cake bran residues and cellulose bran residue. Across all the performed experiments, the use of organomineral fertilizers with cellulose residues and polymer-coated mineral provided a satisfactory protection regard to the ammonia volatilization, if compared to the mineral urea fertilizers, demonstrating a real fertilizer potential in terms of nitrogen protection in both performed crops.

Keywords: nitrogen; loss; urea.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Reetz (2017) e Wang *et al.* (2020), o gás N_2 , também conhecido como nitrogênio, não é reativo. Ele é transformado em compostos quimicamente reativos, como nitrato e amônio, usados pelas plantas. Apesar de o nitrogênio ser vital, o solo tem uma grande dinâmica e é muito afetado pelo clima e pelo solo. A hidrólise enzimática da ureia no solo, que produz a amônia, acompanha as perdas de nitrogênio por volatilização (NH_3).

De acordo com Cantarella *et al.* (2007) e Smith *et al.* (2020), as emissões de nitrogênio sob a forma de NH_3 (volatilização) são estimadas em aproximadamente 54 t g ano^{-1} . Apesar de ser raro no Brasil, qualquer fertilizante nitrogenado que contenha nitrogênio amoniacal está sujeito à volatilização de NH_3 em solos alcalinos. A volatilização da amônia é, principalmente, causada pelo uso de fertilizantes na camada superficial do solo. A complexidade das interações entre fatores estruturais, climáticos e de plantas foi o fator que a impulsionou.

Além disso, quando a ureia é aplicada ao solo, ela é rapidamente hidrolisada em compostos como CO_2 , H_2O e NH_4 , até se transformar no gás amônia (NH_3), que foi liberado para a atmosfera. A umidade do solo e a ação enzimática da urease biológica, presentes em solos agrícolas, controlam essas respostas. Na alta de pH, temperatura e umidade favorecem a ação enzimática (Cantarella *et al.*, 2007). Na variação do nitrogênio nos fertilizantes, causa-se uma perda média de amônia de 14% em todo o mundo, com valores mais elevados em climas quentes e úmidos (Bouwman; Boumans; Batjes, 2002).

Dessa forma, pesquisas realizadas no Brasil revelaram perdas que variam de 18 a 30 por cento do nitrogênio total aplicado ao solo, conforme afirmaram Cantarella *et al.* (2008). A volatilização da amônia é influenciada por uma variedade de fatores. Esses fatores incluem o pH, a umidade e a temperatura do solo, bem como as características específicas do tipo de fertilizante e da maneira como é aplicado (Vieira, 2017).

A volatilização é diretamente afetada pelo aumento do pH e da temperatura do solo, promovendo a formação de gás amônio (Tasca *et al.*, 2011). Dessa forma, as perdas de amônia podem ser maiores devido aos ventos, baixa umidade do solo e aplicação superficial de fertilizantes (Duarte *et al.*, 2007).

Além dos fatores mencionados acima, a volatilização quando a ureia é aplicada está diretamente relacionada à atividade da enzima urease, que atua na hidrólise da molécula de ureia. Essa enzima é abundante em actinomicetos, fungos e bactérias e nas raízes das plantas (Longo; Melo, 2005).

Na produção de alimentos, é necessário aumentar a eficiência do uso da N-ureia (Boaretto; Muraoka; Trivelin, 2007). O fertilizante apresenta níveis elevados de perda de nitrogênio devido à volatilização da amônia. Dessa forma, é necessário realizar estudos adicionais sobre o progresso tecnológico para desenvolver fertilizantes nitrogenados com maior eficiência no fornecimento de nitrogênio (Stafanato et al., 2013).

Kiehl (2008) demonstra que o fertilizante organomineral tem um potencial químico reativo menor do que o fertilizante mineral e se dissolve lentamente. Como consequência, as respostas ao nitrogênio foram atrasadas e os nutrientes encontrados no solo por um período maior.

A cota orgânica, que permite que os nutrientes permaneçam próximos às raízes, contribui para a redução das perdas por lixiviação, volatilização e adsorção. O que resulta em uma maior disseminação dos microrganismos benéficos, uma melhor estrutura do solo e maior absorção de nutrientes pelo sistema radicular (Santos; Wanderley; Sousa Júnior, 2013).

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi determinar o teor de nitrogênio volatilizado na forma de amônia (NH_3) após a aplicação de diversos tipos de fertilizantes nitrogenados no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no campus Glória e as análises realizadas no laboratório de fertilidade do solo no campus Umuarama, da Universidade Federal de Uberlândia, em Minas Gerais. A pesquisa foi dividida em três partes: a primeira foi conduzida em uma casa de vegetação; a segunda a campo na cultura do cafeeiro; e a terceira parte a campo na cultura do milho – todas no Campus Gloria. A metodologia dos experimentos foi a mesma em todos os três lugares.

Para a estimativa da volatilização de amônia, foi utilizado um sistema semiaberto de estática livre do tipo proposto por Araújo *et al.* (2009), denominado SALE. O SALE foi constituído por garrafa transparente (PET) (área= 0,008 m²). Para proteger da chuva, o fundo da garrafa foi retirado e a garrada foi pendurada com um fio. Além disso, um furo na parte superior da câmara foi realizado (diâmetro= 2,1 cm) (Figura 1).

Na Figura 1, foi observado que os complexos de captação de amônia foram construídos com espumas (comprimento= 25 cm, largura= 2,5 cm e espessura= 3 mm), presas verticalmente dentro da garrafa.

A Figura 1 demonstra um pote (50 ml) contendo um preparo (10 ml) de ácido sulfúrico (1 mol dm⁻³) e glicerina (2% v/v). A espuma foi colocada no pote que contém a solução ácida e agitada até que a maior parte seja absorvida. A espuma permaneceu no recipiente fechado da garrafa.

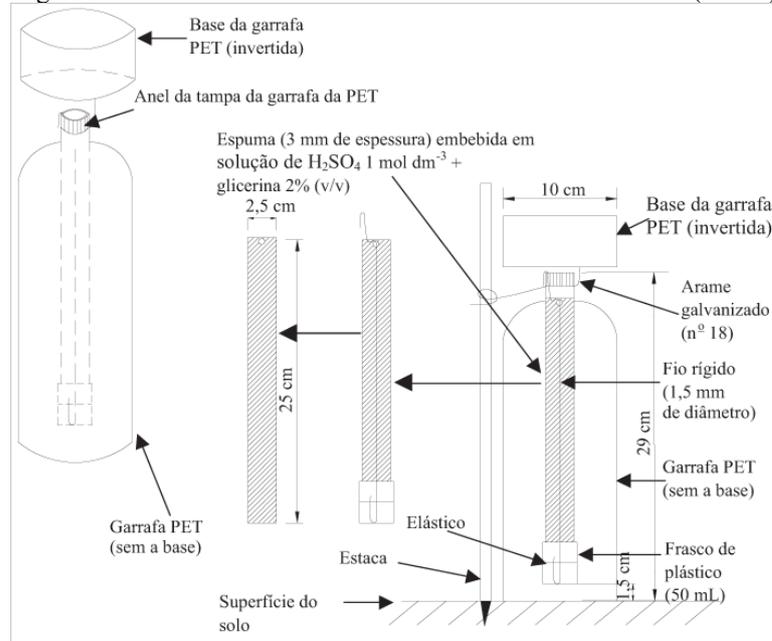
A espuma foi colocada em um pote de 50 ml para evitar que a solução ácida gotejasse no substrato. As demais partes da espuma foram presas ao arame para manter a posição vertical. O coletor é colocado sobre uma base e colocado 1,5 cm acima da superfície do solo.

A calibração do SALE foi realizada em estufa com areia lavada e aquecida com ventilador quente (cerca de 26 °C), em local coberto, com boa ventilação e temperatura ambiente de 25–32 °C.

Na casa de vegetação, foram utilizadas bandejas plásticas (comprimento = 43 cm; largura = 26 cm) com 3 kg de substrato em seu interior. O pH antes da adubação nitrogenada era de 7,5 e, para elevar esse pH, foram incorporados cinco gramas de CaCO₃ em cada bandeja. A areia foi lavada sem nitrogênio, pois a areia lavada não contém urease, uma enzima que decompõe a ureia.

No campo, nos cultivos do cafeeiro e milho, foram utilizadas bandejas de plástico como molde para a aplicação dos adubos diretamente no solo, utilizando-se a área da bandeja (cm^2) para calcular a superfície de aplicação do fertilizante sobre o solo.

Figura 1 - Câmara coletora de amônia semiaberta livre estática (SALE)



Fonte: Araújo *et al.* (2009).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

No ensaio da volatilização de amônia, foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, constituídas por diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados à base de ureia.

No experimento conduzido na cultura do cafeeiro, os tratamentos foram: T1-testemunha, T2-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada 10-10-10, T3-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado 08-08-08, T4-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado 10-10-10, T5-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado 10-10-10, T6-fertilizante mineral ureia convencional 18-18-18 e T7-fertilizante mineral ureia revestido com polímero e com adição de inibidor de urease (NBPT) 15-15-15, na dose de 500 kg ha^{-1} de N (Tabela 1).

No cultivo do cafeeiro, as coletas foram realizadas aos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 21 dias após a aplicação, com 4 repetições (Tabela 2).

Em relação ao experimento na casa de vegetação e na cultura do milho, os tratamentos foram: T1-testemunha, T2-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada 10-10-10, T3-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado 08-08-08, T4-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado 10-10-10, T5-fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado 10-10-10 e T6-fertilizante mineral ureia revestido com polímero e com adição de inibidor de urease (NBPT) 15-15-15, na dose de 500 kg há⁻¹ de N (Tabela 1).

Na casa de vegetação e no cultivo do milho, as coletas foram realizadas aos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 18 dias após a aplicação, com 4 repetições (Tabela 2).

Para o cálculo de adubações, considerou-se a área da bandeja (43 cm x 26 cm = 0,1118 m²). As formulações utilizadas para cada tratamento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos e formulações do experimento de volatilização utilizados em casa de vegetação, cafeeiro e milho. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Formulações	N	Fertilizantes	bandeja
			(kg ha⁻¹)	(g)
T1 - Testemunha	0	0	0	0
T2 - Fertilizante organomineral celulose granulada	10-10-10	500	5000	55,9
T3 - Fertilizante organomineral celulose farelado	08-08-08	500	6250	69,8
T4 - Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	10-10-10	500	5000	55,9
T5 - Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	10-10-10	500	5000	55,9
T6 - Mineral	18-18-18	500	2777	31,04
T7 - Mineral polimerizado NBPT	15-15-15	500	3333	37,26

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

No presente ensaio, os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo. Para determinar da área correta de aplicação, foram utilizadas bandejas plásticas para delimitação da superfície de aplicação dos fertilizantes, obtendo uma área superficial correspondente a 0,1 m². Logo depois, foram aplicados os fertilizantes e realizada a introdução nas câmaras (SALE) de volatilização, caracterizando-se assim em unidades experimentais.

O solo utilizado no experimento em casa de vegetação era de textura média, com o pH corrigido para 6,5. Nos experimentos de campo, o solo predominante foi um latossolo vermelho

distrófico, com pH de 5,8 na área com milho e 6,3 na área com café. Foram retiradas espumas de cada dia de coleta para que fossem realizadas as análises laboratoriais dessas espumas, do SALE.

No experimento em casa de vegetação, para manter a umidade no solo durante todo o experimento, foi aplicada diariamente uma lâmina de água correspondente a 80% da capacidade de campo. Nos experimentos a campo da cultura do cafeeiro e do milho, foram acompanhadas as suas precipitações segundo a Tabela 2.

Na casa de vegetação, as coletas ocorreram ao primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto, sexto, oitavo, décimo, décimo segundo, décimo sexto e vigésimo primeiro dia após a aplicação dos fertilizantes, sem precipitação (Tabela 2).

No cultivo do cafeeiro, as coletas ocorreram ao primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto, sexto, oitavo, décimo, décimo segundo, décimo sexto e vigésimo primeiro dia após a aplicação dos fertilizantes. Durante o experimento, ocorreram quatro precipitações: a primeira, com 7,5 mm, aconteceu no primeiro dia de coleta (13/03/2021); a segunda chuva, com 25 mm, no segundo dia de coleta (14/03/2021); a terceira, com 36,25 mm, no terceiro dia de coleta (15/03/2021); e a quarta, com 33,33 mm, ocorreu no quinto dia de coleta (17/03/2021) (Tabela 2).

Na cultura do milho, as coletas ocorreram ao primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto, sexto, oitavo, décimo, décimo segundo, décimo sexto e vigésimo primeiro dias após a aplicação dos fertilizantes. Nesse cultivo, aconteceu uma precipitação. A primeira e única precipitação, com 52,5 mm, aconteceu no segundo dia de coleta (07/04/2021) (Tabela 2).

Tabela 2 - Precipitação (mm) nas datas de coletas aos 1,2,3,4,5,6,8,10,12,16 e 21 após a instalação. Uberlândia/MG, 2022

Precipitação(mm)						
Casa de Vegetação			Cafeeiro		Milho	
Coletas	Datas	Precipitação	Datas	Precipitação	Datas	Precipitação
1	26/01/21	0	13/03/21	7,5	06/04/21	0
2	27/01/21	0	14/03/21	25	07/04/21	52,5
3	28/01/21	0	15/03/21	36,25	08/04/21	0
4	29/01/21	0	16/03/21	0	09/04/21	0
5	30/01/21	0	17/03/21	33,33	10/04/21	0
6	31/01/21	0	18/03/21	0	11/04/21	0
8	02/02/21	0	20/03/21	0	13/04/21	0
10	04/02/21	0	22/03/26	0	15/04/21	0
12	06/02/21	0	24/03/27	0	17/04/21	0
16	10/02/21	0	28/03/28	0	21/04/21	0
21	15/02/21	0	02/04/29	0	26/04/21	0

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em todos os ensaios, a amônia retida na espuma foi destilada e titulada com hidróxido de sódio. Para a mistura e a espuma, foram levados para o recipiente, denominado P1. Posteriormente, são incorporados com água destilada em cada recipiente. O recipiente com a espuma e a mistura foram jogados horizontalmente. Esperados os vinte minutos, a vidraria foi pesada e chamada de P2. Uma diluição de 10 ml de amônio foi destilada a vapor e depois titulada para medir o nitrogênio amoniacal. A diferença entre P2 e P1, mais a massa da espuma, foi usada para determinar o volume da mistura.

A quantidade de nitrogênio nítrico e amoniacal, nitrogênio total e massa de nitrogênio volatilizado (mg) presentes no solo (residual) foi analisada. Para a extração de amônio em água e extratores de solo, pesaram-se 5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em Erlenmeyer de 125 ml, adicionando-se 50 ml do extrator KCL 1 mol L⁻¹. A mistura foi agitada em um agitador de mesa por 30 minutos e deixou-se decantar por aproximadamente 60 minutos, filtrando o sobrenadante em papel de filtro quantitativo (faixa azul de 2 mm de porosidade). O extrato foi centrifugado a 3000 rpm por 5 minutos. Para a determinação de amônio, pipetou-se uma alíquota de 4 ml do extrato, adicionou-se 0,9 ml do RT e 0,1 ml de NaOCl (2%), deixando-se em repouso por 120 minutos até a formação de uma cor azul, que se intensifica com o aumento da concentração de NH₄⁺ em solução. Procedeu-se à leitura em espectrofotômetro utilizando comprimento de onda igual a 646 nm.

Para o procedimento de extração de nitrato em água e extratos do solo, pesaram-se 5 g de TFSA em Erlenmeyer de 125 ml. Adicionaram-se 50 ml do extrator KCL 1 mol L⁻¹, agitou-se em um agitador de mesa por 30 minutos e deixou-se decantar por aproximadamente 60 minutos, filtrando o sobrenadante em papel de filtro quantitativo lento. Na determinação, pipetou-se 1 ml da amostra em um tubo de ensaio de 20 ml. Adicionou-se 0,5 ml da solução TRI e secou-se em estufa a 65°C por aproximadamente 16 horas ou em chapa aquecedora por 4 horas, tempo necessário para secagem total do material, restando apenas um resíduo seco no fundo do tubo. Após a secagem da amostra, adicionou-se 1 ml H₂SO₄ e agitou-se manualmente. Esperou-se esfriar por aproximadamente 30 minutos e adicionou-se mais 5 ml da solução NaOH 10mol L⁻¹, agitando-se vagarosamente. Quando faltasse cerca de 1 ml NaOH (amostras com maior concentração de nitrato desenvolvem uma coloração amarela mais intensa), procedeu-se à leitura em espectrofotômetro utilizando comprimento de onda igual a 410 nm.

Na determinação de nitrogênio do solo, os materiais foram moídos, as amostras foram pesadas e passadas por uma peneira de 60 mesh. Para cada amostra, pesaram-se 0,2 g em uma balança analítica. Na digestão, as amostras foram colocadas nos tubos de digestão sob a capela, sendo acondicionados 6 ml de mistura digestora por tubo. A digestão foi iniciada com controle

a 100 °C. Os tubos foram aumentados gradualmente a cada 50 °C até atingir 340 °C. Os tubos foram inclinados durante a digestão. Os resíduos nas paredes dos tubos foram lavados para garantir a completa recuperação todo N-total nas amostras. As amostras foram deixadas por 1 hora após a mudança de cor para esverdeamento dos resíduos no fundo do tubo.

As análises bioquímicas foram realizadas em amostra de solo em peneira de 2 mm e a umidade de solo foi determinada para cada amostra. Os valores foram expressos nas unidades das enzimas por massa seca do solo (105°C). As atividades das enzimas foram incubadas a 37 °C por 1 hora (fosfatase, arilsulfatase, β -glicosidase e urease).

As análises microbianas do solo foram realizadas em amostras de solo peneirado em malha de 2 mm, e a umidade do solo foi determinada para cada amostra. Os valores foram expressos em unidades dos indicadores por massa seca do solo (105°C). A atividade microbiana do solo foi determinada em amostras pré-secas à temperatura ambiente por 24 horas, com a umidade ajustada para 20% (massa: volume), e incubadas a 24°C por 21 dias em BOD.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para avaliar os resíduos e a igualdade de variâncias, aplicamos testes de hipótese, igualdade e variância para testar esses resultados. Os dados foram analisados para determinação da variância por meio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CASA DE VEGETAÇÃO

3.1.1 Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização na casa de vegetação

Na Tabela 3, as taxas superiores diárias de perda de amônia por volatilização observadas nesta pesquisa atual, em condições de casa de vegetação, estão relacionadas ao tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada no primeiro, segundo, terceiro, quinto e sexto dia.

O uso de fertilizantes organominerais com resíduos de celulose farelada deveria reduzir as perdas diárias de amônia por volatilização devido à liberação lenta e controlada de nitrogênio e às melhorias nas propriedades do solo. Essas práticas aumentariam a eficiência do uso de nitrogênio e promoveriam uma agricultura mais sustentável.

O presente ensaio mostra as taxas máximas diárias de perda de amônia por volatilização que ocorrem durante o tratamento com fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado, no quarto dia. Ao oitavo, décimo, décimo segundo, décimo sexto e décimo oitavo dia, as máximas taxas foram observadas com o fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de celulose granulada, na casa de cultivo (Tabela 3).

Conforme as observações dos autores Al-Kanani, Mackenzie e Barthakur (1991), as maiores perdas diárias de amônia por volatilização ocorrem nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante.

Tabela 3 - Valores médios de amônia volatilizados capturados em 18 dias em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022

Fertilizantes	Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização (kg ha ⁻¹ de N-NH ₃)																					
	Dias																					
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	18											
Testemunha	0,01	c	0,02	b	0,02	b	0,05	c	0,06	b	0,09	b	0,12	b	0,11	c	0,06	b	0,09	b	0,08	b
Fertilizante organomineral celulose granulado	0,05	b	0,05	b	0,04	b	0,19	c	0,54	ab	0,76	b	5,44	a	6,64	a	2,31	a	1,67	a	0,32	a
Fertilizante organomineral celulose farelado	0,21	a	0,49	a	0,98	a	1,50	bc	3,58	a	4,05	a	1,58	ab	1,70	b	0,25	ab	0,57	b	0,17	ab
Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	0,05	b	0,17	b	0,95	a	5,53	a	2,91	ab	1,83	ab	2,42	ab	1,79	b	0,39	ab	0,45	b	0,19	ab
Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	0,05	b	0,12	b	1,31	a	3,48	ab	3,40	a	2,16	ab	2,04	ab	1,48	b	0,30	ab	0,47	b	0,24	a
Mineral polimerizado	0,04	bc	0,14	b	0,04	b	0,96	c	3,51	a	3,79	a	4,52	a	6,53	a	1,59	ab	0,86	ab	0,27	a
CV (%)	20,25		42,2		34,32		53,56		61,17		47,16		66,97		19,05		117,58		65,20		32,29	

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

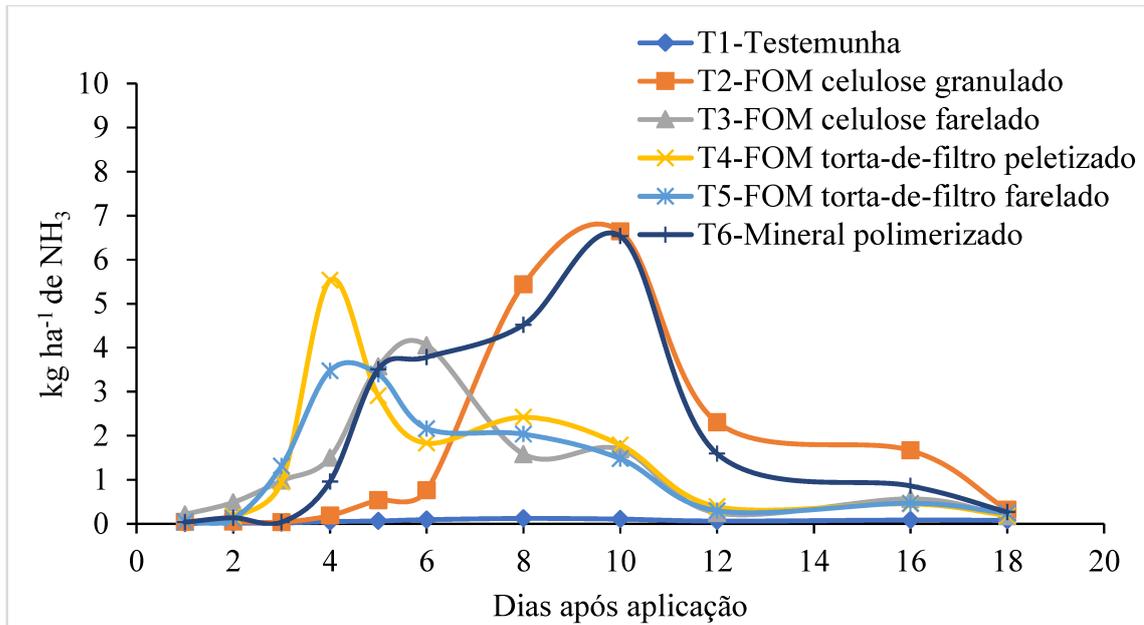
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na Tabela 3, este estudo, mostra que, para o tratamento com fertilizante organomineral à base orgânica de resíduos de celulose granulada, observam-se as ínfimas taxas diárias de perdas de amônia por volatilização que ocorrem no segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto dia. Para o tratamento com fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado, as mínimas ocorrem no oitavo, décimo e décimo oitavo dia (Tabela 3).

Os fertilizantes orgânicos baseados em resíduos de torta-de-filtro farelada têm características específicas que influenciam as taxas diárias de perdas de amônia por volatilização no solo. Esses fertilizantes são derivados de resíduos industriais, como a torta-de-filtro da produção de açúcar e possuem um conteúdo significativo de matéria orgânica.

A Tabela 3 apresenta, no presente estudo, que o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado no décimo sexto dia demonstra uma redução nas taxas diárias de perdas. Os resultados do tratamento com fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de celulose farelados no décimo dia confirmam as menores taxas diárias de perdas. O primeiro dia, para o mineral polimerizado, apresenta uma das menores taxas diárias de perdas.

Figura 2 - Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Figura 2 mostra que, no primeiro, segundo e sexto dia, o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada apresentou os maiores picos de taxas diárias de perdas. No terceiro dia, o fertilizante organomineral à base orgânica de resíduos de torta-de-filtro farelado foi detectado como o tratamento que apresentou os maiores índices de perdas diárias.

O estudo atual revelou que, em condições de casa de vegetação, o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada apresenta as maiores taxas diárias de perda, em comparação com outros fertilizantes aplicados (Figura 2).

Os fertilizantes nitrogenados avaliados demonstraram uma capacidade de retardar a volatilização do nitrogênio em até três dias. Dentre os fertilizantes estudados, estão os tratamentos com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro (peletizado e farelado). Os indivíduos com o menor tempo de proteção contra a volatilização de nitrogênio relatam os picos de volatilização entre os terceiros e quartos dias.

Na presente pesquisa, o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada foi o mais eficiente na diminuição do tempo de pico de volatilização de nitrogênio, tendo iniciado a volatilização apenas no sexto dia após a aplicação (Figura 2). Ao contrário de Machado (2015), em um estudo realizado com diferentes tipos de fertilizantes especiais, obtém-se que as maiores perdas por volatilização ocorreram entre os segundos e os sextos dias.

Isto demonstra que alguns fertilizantes, como os organominerais com elevada concentração de húmus, fornecem inibição da ação da enzima da urease, protegendo o nitrogênio da volatilização em até seis dias.

3.1.2 Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização na casa de vegetação

No presente experimento em casa de vegetação, o tratamento com base orgânica em resíduos de celulose farelada foi o que apresentou as maiores taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização no segundo e terceiro dia (Figura 3).

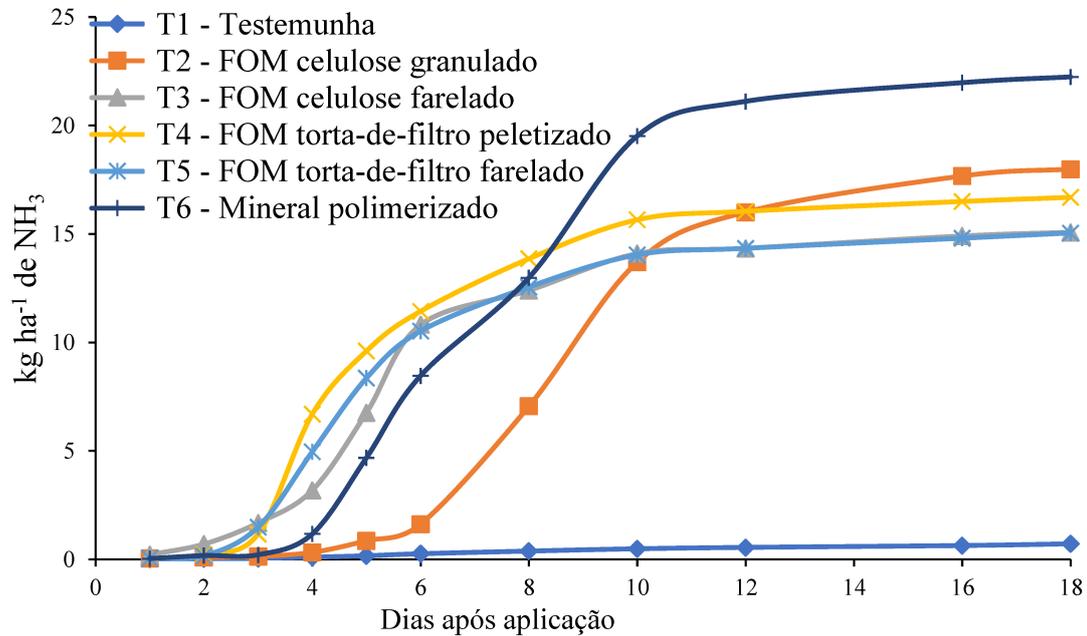
No quarto, quinto, sexto e oitavo dia, o fertilizante organomineral à base orgânica de resíduos de torta-de-filtro peletizado apresentou as maiores taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização (Figura 3).

A Figura 3 apresenta as maiores perdas de amônia causadas pela volatilização do fertilizante mineral polimerizado no décimo, décimo segundo, décimo sexto e décimo oitavo dia. No que diz respeito ao valor total acumulado, o mineral com polímero apresentou um nível de volatilização superior em relação aos outros, totalizando 22,25 kg ha⁻¹ de amônia volatilizada.

A testemunha apresentou o menor tratamento em todos os dias de coletas, uma vez que não recebeu adubação nitrogenada, explicando os valores baixos na condição de casa de vegetação (Figura 3).

McInnes *et al.* (1986) e Lara Cabezas, Trivelin e Boaretto (1992) constam que a hidrólise da ureia em solo seco é praticamente zero. É importante salientar que a água é indispensável para a formação do gás amônio e, conseqüentemente, para a redução da amônia. No presente trabalho, foi molhado todos os dias de coleta. A precipitação realizada durante todo o experimento foi feita com um regador, uma vez que não era possível usar água naturalmente na forma de precipitação. Isso pode ter favorecido a hidrólise da ureia.

Figura 3 - Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Figura 3, em condições de casa de vegetação, mostra que o tratamento com fertilizante organomineral à base orgânica de resíduos de celulose granulada e o fertilizante mineral polimerizado apresentam as menores taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização, ocorrendo no terceiro, quarto, quinto e sexto dia.

Os fertilizantes minerais polimerizados são projetados para minimizar as perdas de nutrientes, incluindo a volatilização de amônia. A liberação controlada de nitrogênio resulta em menores perdas acumuladas de amônia.

3.1.3 Teores de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total na casa de vegetação

No presente ensaio, sob a condição de casa de vegetação, foi observado que os tratamentos com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada e fertilizante mineral polimerizado apresentaram os maiores valores de nitrato, ambos com o valor de $0,17 \text{ mg/dm}^3$ (Tabela 4).

Os fertilizantes que foram feitos com resíduos de celulose farelada melhoraram o uso de nitrato no solo, fazendo com que as plantas cresçam saudáveis e a agricultura seja mais

sustentável. O uso de fertilizantes minerais polimerizados melhora a eficiência do uso de nitrato, proporcionando uma nutrição constante e reduzindo as perdas por lixiviação.

Nesta presente pesquisa, para o indicador amônio, foi apresentado um fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada, com o maior nível de 0,06 mg/dm³ na casa de vegetação (Tabela 4). Os fertilizantes organominerais à base de resíduos de celulose farelada promovem a liberação gradual e eficiente de amônio, melhorando a disponibilidade de nitrogênio, reduzindo perdas por volatilização e lixiviação e favorecendo a saúde do solo e o crescimento das plantas.

Tabela 4 - Teores médios de nitrato (NO₃⁻), amônio (NH₄⁺) e nitrogênio total obtidos após 18 dias da aplicação dos fertilizantes no solo, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em casa de vegetação. Uberlândia/MG, 2022

Fertilizantes	Nitrato		Amônio		Nitrogênio total	
	(mg/dm ³)					
Testemunha	0,16	a	0,03	b	0,05	d
Fertilizante organomineral celulose granulado	0,14	a	0,04	ab	0,12	bc
Fertilizante organomineral celulose farelado	0,17	a	0,06	a	0,09	cd
Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	0,05	b	0,04	ab	0,17	ab
Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	0,16	a	0,05	ab	0,22	a
Mineral polimerizado NBPT	0,17	a	0,04	ab	0,19	a
CV (%)	43,35		19,35		18,24	

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na casa de vegetação, no que diz respeito ao índice de nitrogênio total do solo, o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada apresentou o maior valor de 0,22 mg/dm³ (Tabela 4). Ao adicionar celulose, aumenta-se o teor de matéria orgânica no solo, melhorando a sua capacidade de reter nitrogênio e outros nutrientes. O uso de fertilizantes organominerais com resíduos de celulose farelada otimizou a disponibilidade e a retenção de nitrogênio no solo, promovendo um ambiente favorável para o crescimento das plantas e contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis. A presença de carbono nos fertilizantes organominerais pode explicar a maior retenção de nitrogênio no solo nos tratamentos que utilizam esses fertilizantes.

O amônio (NH_4^+) é destruído pelos microrganismos e oxidado para nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), o que resulta em mais N nos solos em condições aeróbias (Cantarella *et al.*, 2007).

3.2 CAFEIEIRO

3.2.1 Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização no cafeeiro

Nesta pesquisa, as taxas diárias de perda de amônia coletadas na cultura do cafeeiro mostraram que o início da volatilização ocorreu no segundo dia após a aplicação dos fertilizantes (Tabela 5).

De acordo com Byrnes (2000), a hidrólise ocorre entre dois e três dias, com uma ampla faixa de umidade do solo. Diest (1988) menciona que a volatilização da amônia ocorre de forma rápida na semana seguinte à aplicação de nitrogênio.

O fertilizante organomineral com base orgânica de resíduos de torta-de-filtro farelado, o fertilizante mineral convencional e o fertilizante organomineral com base orgânica de resíduos de torta-de-filtro peletizado apresentam uma tendência de maior volatilidade pontual, pois os picos de volatilidade desses fertilizantes ocorreram entre os terceiros e quintos dias (Tabela 5). Ao contrário de Machado (2015), que relata que as maiores taxas diárias de amônia volatilizada foram encontradas entre o segundo e o quarto dia e entre o oitavo e o décimo sexto dia, a partir daí houve uma redução nas taxas de volatilização.

Conforme com Alves (2009), Lara Cabezas e Trivelin (1990) e Costa, Vitti e Cantarella (2003), o processo de volatilização de amônia atingiu seu auge na primeira semana após a aplicação de ureia. Whitehead (1995) afirma que, após esse período, as perdas devem diminuir, provavelmente, devido à queda do pH do solo.

Tabela 5 - Valores médios de amônia volatilizados capturado em 21 dias em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022

Fertilizantes	Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização (kg ha ⁻¹ de N-NH ₃)																					
	Dias																					
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	21											
Testemunha	0,07	b	0,06	b	0,04	a	0,04	a	0,07	a	0,07	a	0,04	b	0,04	a	0,04	b	0,06	a	0,09	a
Fertilizante organomineral celulose granulado	0,10	ab	0,16	ab	0,72	a	0,46	a	0,28	a	0,14	a	0,25	ab	0,14	a	0,11	ab	0,10	a	0,18	a
Fertilizante organomineral celulose farelado	0,14	a	0,12	b	0,50	a	0,79	a	0,25	a	0,21	a	0,36	ab	0,17	a	0,14	ab	0,12	a	0,16	a
Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	0,12	ab	0,14	ab	0,55	a	1,30	a	1,13	a	0,16	a	0,57	a	0,24	a	0,23	a	0,18	a	0,21	a
Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	0,11	ab	0,39	ab	1,31	a	1,37	a	0,61	a	0,23	a	0,35	ab	0,10	a	0,12	ab	0,10	a	0,12	a
Mineral	0,07	b	0,48	a	0,65	a	1,73	a	0,17	a	0,47	a	0,34	ab	0,11	a	0,11	ab	0,22	a	0,22	a
Mineral polimerizado	0,13	a	0,11	b	0,04	a	0,07	a	0,11	a	0,06	a	0,05	b	0,04	a	0,09	b	0,09	a	0,09	a
CV (%)	25,28		69,45		102,52		133,39		125,11		124,28		77,02		77,41		47,91		61,58		40,1	

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Conforme a Figura 4, durante todo o experimento de volatilização de amônia, foram registradas quatro precipitações. A primeira precipitação aconteceu no primeiro dia após a aplicação dos fertilizantes. Após a aplicação de fertilizantes, houve um aumento das máximas taxas diárias perdidas de amônia por volatilização no tratamento com fertilizante mineral polimerizado. Dessa forma, a volatilização da amônia está diretamente ligada à temperatura, umidade, pH e cobertura vegetal (Rochette *et al.*, 2009).

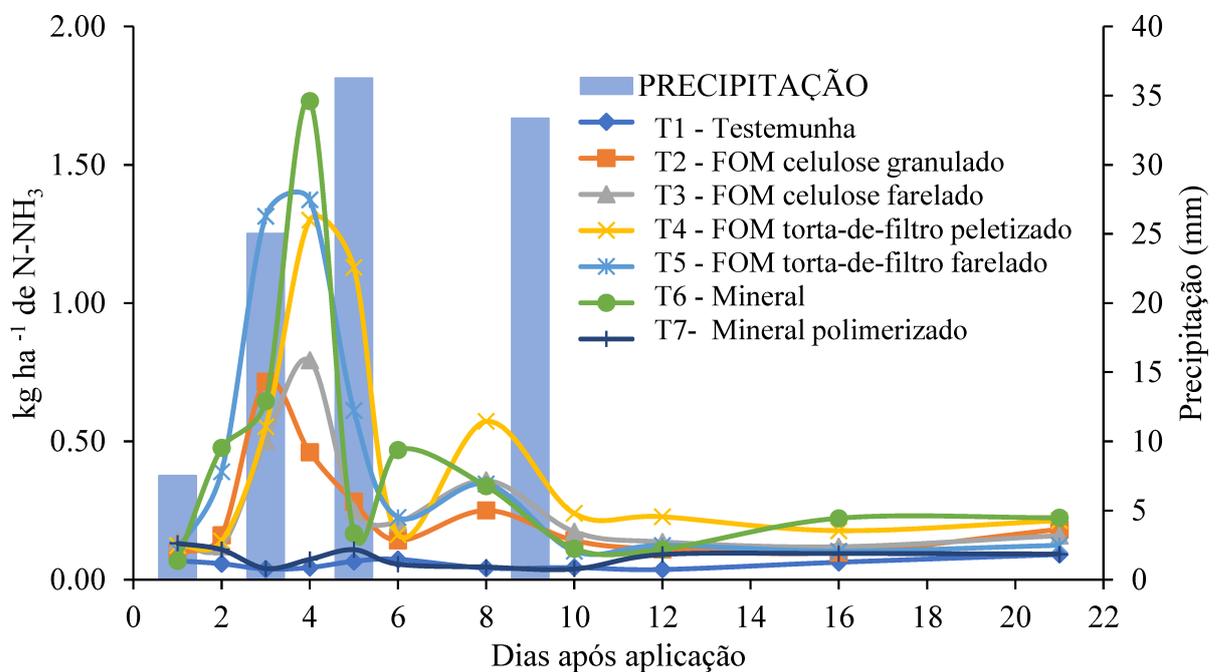
A segunda precipitação ocorreu no terceiro dia, após a aplicação de fertilizantes, e para este dia ocorreram as maiores taxas diárias de perda de amônia por volatilização para o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado (Figura 4).

A terceira precipitação ocorreu no quinto dia, após a aplicação de fertilizantes, e a última ocorreu no nono dia. Ambas as precipitações apresentam altos níveis de perdas de amônia por volatilização para o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado (Figura 4).

Na Figura 4, foi mostrado que, desde a última precipitação, há uma diminuição nos valores de amônia volatilizada, o que pode ser explicado pelo fato de a maioria do nitrogênio aplicado na terceira chuva ter sido absorvida pelo solo.

De acordo com Savant, James e Mcclean (1987), quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de amônia. A adição de água exerce uma influência direta na hidrólise, uma vez que aumenta a difusão da ureia e, conseqüentemente, aumenta o contato com a urease no solo.

Figura 4 - Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.2.2 Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização no cafeeiro

A presente pesquisa demonstrou que as máximas taxas acumuladas de perdas de amônia ocorreram nos seguintes tratamentos: fertilizante organomineral com base orgânica com torta-de-filtro farelado, fertilizante organomineral com base orgânica com torta-de-filtro peletizado e fertilizante mineral. A escolha entre fertilizantes organominerais e minerais polimerizados pode impactar significativamente a proteção do solo e o desenvolvimento das plantas. Fertilizantes com base em resíduos de celulose oferecem benefícios adicionais, como melhoria da estrutura do solo e liberação gradual de nutrientes, enquanto os fertilizantes polimerizados proporcionam uma liberação precisa e controlada dos nutrientes (Figura 5).

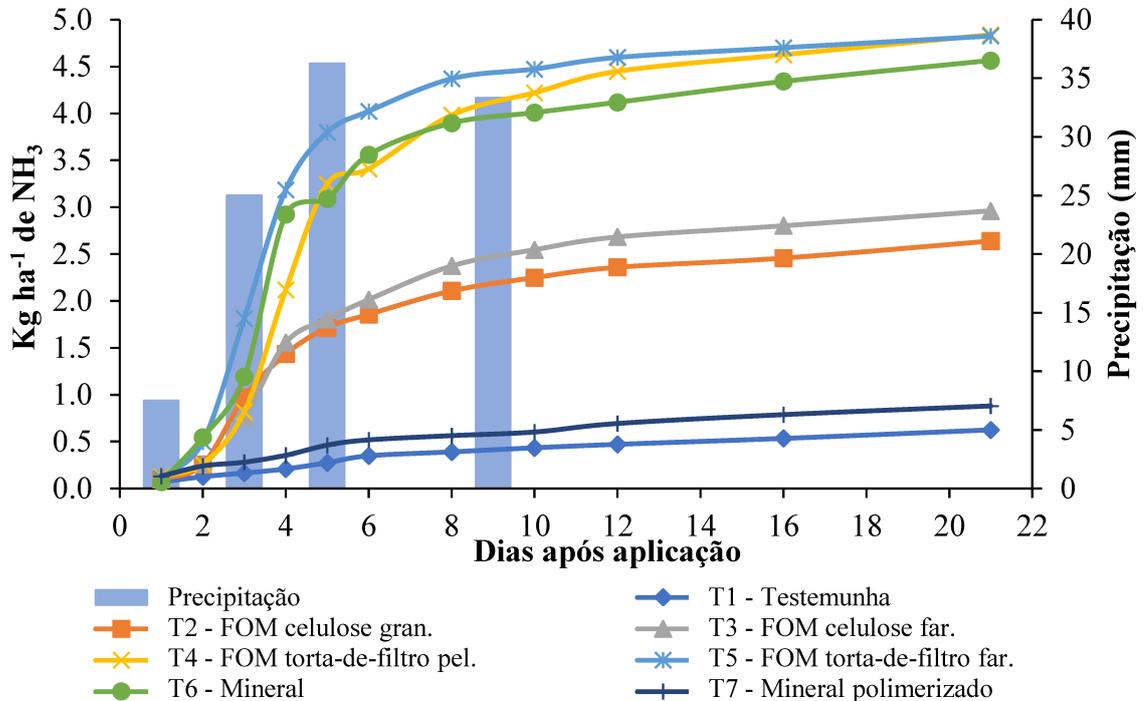
Yusuff, Ahmed e Majid (2009) afirmam que a adição de ureia e ácidos húmicos reduziu significativamente a volatilidade da amônia em até 36%. Dessa forma, os ácidos húmicos aplicados à ureia podem reduzir as perdas por volatilização da amônia (Weil; Magdoff, 2004).

Na presente pesquisa, o fertilizante mineral com polímero e NBPT apresentou uma grande redução na volatilização acumulada na cultura do café, o que demonstra uma excelente capacidade de proteção do polímero e do inibidor de urease (Figura 5). Ao contrário de Machado (2015), que observou que no 24º dia houve um novo pico de volatilização da ureia polimerizada 1, que foi explicado por uma precipitação de 2,1 mm dois dias antes da última avaliação.

Os inibidores de urease são substâncias que retardam a conversão da ureia para amônia, o que resulta em menores perdas por volatilização e maior penetração da ureia no solo (Malhi *et al.*, 2001). Dessa forma, diversas substâncias são estudadas para inibir a atividade da enzima urease e diminuir a volatilização de amônia (Krajewska, 2009). Dentre os inibidores, o NBPT (N-(n-butil) trifosforico triamida) foi um dos mais promissores para diminuir os índices de volatilização de amônia (Chien; Prochnow; Cantarella, 2009).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2014), as perdas por volatilização ocorrem devido ao contato do fertilizante com a enzima urease presente no solo. O revestimento tem como objetivo diminuir a perda, pois o fertilizante fica protegido dentro da cápsula. O revestimento desse fertilizante com polímeros tem como objetivo otimizar as fontes disponíveis no mercado, dependendo das características dos polímeros, aumentando a eficiência do uso pelo mecanismo de liberação lenta e gradual do nutriente.

Figura 5 - Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os fertilizantes organominerais com base orgânica de resíduos de celulose granulada e farelada diminuíram as perdas com picos de volatilização no quarto, quinto, sexto, oitavo, décimo, décimo segundo, décimo sexto e o vigésimo primeiro dia (Figura 5).

As respostas para essa melhoria podem estar ligadas à matriz orgânica empregada na fabricação dos fertilizantes organominerais à base de celulose. As matrizes orgânicas a partir de resíduos de celulose tendem a ter pH próximo da neutralidade e alta concentração de substâncias húmicas em sua composição. A degradação de celulose pode ter causado o tamponamento do pH ao redor do grânulo de ureia. A elevada quantidade de elementos húmicos presentes nessa matriz orgânica pode ter contribuído para a complexação do nitrogênio e, consequentemente, redução das perdas por volatilização de amônia.

3.2.3 Teores de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total no cafeeiro

Neste estudo, em relação aos teores de nitrato (NO_3^-), não foi observado variação significativa entre os tratamentos avaliados, exceto para a testemunha (Tabela 6).

Na Tabela 6 desta pesquisa, não foram observados variação significativa entre os tratamentos, exceto para o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado e para a testemunha.

No atual experimento, para o teor nitrogênio total no solo analisado, não foram observados variação significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 6).

Tabela 6 - Teores médios de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total obtidos após 21 dias da aplicação dos fertilizantes no solo, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022

Fertilizantes	Nitrato	Amônio	Nitrogênio Total			
	(mg/dm ³)					
Testemunha	0,18	b	0,00	b	0,42	a
Fertilizante organomineral celulose granulado	1,34	a	0,05	a	0,31	a
Fertilizante organomineral celulose farelado	1,59	a	0,03	ab	0,37	a
Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	1,66	a	0,04	a	0,25	a
Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	1,67	a	0,05	a	0,21	a
Mineral	2,21	a	0,04	a	0,32	a
Mineral polimerizado	1,79	a	0,05	a	1,53	a
CV (%)	31,74		37,04		172,33	

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a variável nitrato, foi considerado o nível máximo de 2,21 mg/dm³ no tratamento com fertilizante mineral. A presença de nitrato no solo pode favorecer a atividade microbiana no solo do fertilizante avaliado. Durante a mineralização da matéria orgânica, os micróbios que vivem no solo liberam nitrato (Bohnen, 1995).

Foi avaliado o nível de amônio em 0,05 mg/dm³ para os tratamentos de fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada, fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado e mineral polimerizado. Saldanha *et al.* (2016) relatam que o amônio foi capaz de se unir à matéria orgânica do solo e às partículas de argila, reduzindo sua lixiviação e mantendo o nitrogênio no solo desses tratamentos por um tempo mais longo.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos torna-se necessária devido à crescente demanda por alimentos de uma população mundial em constante crescimento. Usar fertilizantes nitrogenados aumenta a quantidade de amônio e nitrato no solo. O amônio é

utilizado pelos microrganismos para a nitrificação, enquanto o nitrato é usado para a desnitrificação (Cardenas *et al.*, 2010).

O índice de nitrogênio total no solo apresentou um valor de 1,53 mg/dm³ para o fertilizante mineral polimerizado. O nitrogênio total no solo foi crucial para a saúde e a produtividade da planta, o que interferiu diretamente na fertilidade do solo e na eficiência do uso de nutrientes para esse tratamento em comparação com outros. O teor de nitrogênio total representa um indicador da fertilidade do solo.

Aproximadamente 95% do nitrogênio presente no solo está na forma orgânica. Além do nitrogênio orgânico, existem as formas inorgânicas minerais (amônio, nitrito e nitrato), que podem ser facilmente identificadas e quantificadas. Apesar de serem menores que a fração orgânica, elas são extremamente importantes para a nutrição das plantas e para diversos processos relacionados ao ciclo do nitrogênio (Vieira, 2017).

3.2.4 Atividade microbiana do solo no cafeeiro

Neste experimento, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos em termos de fatores que avaliam a atividade acumulada, atividade diária, carbono da biomassa microbiana e nitrogênio da biomassa microbiana no cafeeiro (Tabela 7).

Os autores Ferreira, Stone e Martin-Didonet (2017), Bowles *et al.* (2014) e Epelde *et al.* (2014) apontam que as bactérias do solo ajudam a melhorar a qualidade do solo. A atividade das bactérias no solo é importante para manter o solo fértil e saudável. Isso afeta a quantidade de nutrientes, a decomposição das matérias orgânicas, a estrutura do solo e a resistência às doenças.

Tabela 7 - Valores médios da atividade acumulada, atividade diária, carbono da biomassa microbiana (CBM) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Atividade microbiana do solo							
	Atividade acumulada		Atividade diária		CBM		NBM	
	ug C-CO ₂ g ⁻¹ solo		ug C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹		ug C g ⁻¹ solo		ug N g ⁻¹ solo	
Testemunha	1194,3	a	56,9	a	244,0	a	25,5	a
Fertilizante organomineral celulose granulado	1345,5	a	64,1	a	339,5	a	32,3	a
Fertilizante organomineral celulose farelado	1047,8	a	49,9	a	285,5	a	30,6	a
Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	1310,0	a	62,4	a	394,5	a	43,4	a
Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	1440,8	a	68,6	a	289,8	a	32,7	a
Mineral	1375,0	a	65,5	a	315,3	a	31,6	a
Mineral polimerizado	1138,8	a	54,3	a	252,0	a	25,9	a
CV (%)	30,67		30,64		35,32		28,57	

¹ As análises foram realizadas em amostra de solo tamizada em peneira de 2 mm e umidade de solo determinada para cada amostra. Os valores são expressos nas unidades dos indicadores por massa seca do solo (105° C). A atividade microbiana do solo foi determinada em amostras pré-secas à temperatura ambiente por 24 horas, a unidade ajustada para 20 % (massa: volume) e incubadas à 24° C por 21 dias em BOD. Carbono da biomassa microbiana, **CBM**; Nitrogênio da biomassa microbiana, **NBM**. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey (p<0,05) de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No presente estudo, o fator atividade acumulada atingiu o valor de 1440,8 ug C-CO₂ g⁻¹ solo para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado. Com essa alta atividade microbiana acumulada, mostrou-se uma máxima qualidade desse solo, com o uso do fertilizante avaliado. Essa medida fornece um indicador relevante da saúde e da fertilidade do solo, refletindo a capacidade do solo de sustentar a vida vegetal e manter um ecossistema equilibrado.

A variável atividade diária apresentou o maior valor, com 68,6 ug C-CO₂ g⁻¹ solo dia⁻¹, para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado, na cultura do cafeeiro. Medir a atividade microbiana diária forneceu uma ideia imediata da saúde e fertilidade do solo. Esse tratamento foi avaliado com elevada atividade, o que indica um solo saudável e biologicamente ativo.

A atividade microbiana diária no solo diz respeito às atividades metabólicas e processos realizados por microrganismos no solo em 24 horas. Medir e compreender essa atividade diária é crucial devido a diversos fatores relacionados à saúde do solo, à fertilidade e à gestão agrícola.

No cultivo do cafeeiro, a variável carbono da biomassa microbiana atingiu o valor de 394,5 ug C g⁻¹ solo, para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado. Os máximos níveis de carbono da biomassa microbiana indicaram uma comunidade microbiana ativa e saudável, capaz de realizar funções essenciais no ecossistema do solo deste tratamento em relação aos outros avaliados. O carbono da biomassa microbiana foi fundamental para a ciclagem de nutrientes, a estabilização da matéria orgânica e a manutenção da fertilidade e qualidade do solo.

Além disso, Pertile *et al.* (2020) afirmam que são, geralmente, sensíveis a perturbações no solo e, por isso, empregadas na detecção de possíveis problemas causados pela aplicação de compostos químicos, como os herbicidas.

O maior valor, de 394,5 ug C g⁻¹ solo, para o indicador de nitrogênio da biomassa microbiana, foi observado durante o tratamento com fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado. Os altos níveis de nitrogênio da biomassa microbiana indicam uma comunidade microbiana ativa e saudável, capaz de desempenhar funções essenciais no ecossistema do solo deste tratamento avaliado, em relação aos usos deste fertilizante. Com o nitrogênio da biomassa microbiana, foi possível medir e aumentar o nitrogênio da biomassa microbiana, pois é essencial para práticas agrícolas sustentáveis e a promoção de solos saudáveis.

Devido a isto, torna-se essencial relatar a qualidade do solo mediante diversos indicadores. A melhoria da qualidade do solo está relacionada ao aumento do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo. Esses indicadores de curto prazo de intervenções antropogênicas foram apontados como excelentes indicadores de curto prazo para comparações da qualidade do solo sob diferentes manejos (Costa *et al.*, 2015).

3.2.5 Atividade bioquímica do solo no cafeeiro

No presente ensaio, o indicador de umidade do solo não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 8).

No cultivo do cafeeiro, o maior teor de umidade foi de 12,90% para o fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de celulose farelada (Tabela 8). Nesse tratamento, a umidade do solo ajudou a manter condições mais estáveis e favoráveis para a atividade bioquímica do solo. Manter níveis adequados de umidade no solo é essencial para promover a saúde do solo, a produtividade das culturas e a sustentabilidade agrícola. Práticas de manejo

que conservam a umidade e evitam a compactação do solo são cruciais para manter um ambiente favorável para a atividade bioquímica do solo.

Tabela 8 - Valores médios da umidade, β -glicosidase, arilsulfatase e o urease na cultura do cafeeiro. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Atividade bioquímica do Solo							
	Enzimas							
	Umidade (%)	β -glicosidase ----- ug p-NP h ⁻¹ g ⁻¹ solo -----				Urease ug NH ₃ g ⁻¹ solo		
Testemunha	10,68	a	216,25	b	139,25	a	315,00	b
Fertilizante organomineral celulose granulado	11,13	a	273,50	ab	92,50	ab	453,25	ab
Fertilizante organomineral celulose farelado	12,90	a	215,75	b	79,50	b	384,00	ab
Fertilizante organomineral torta peletizado	11,70	a	395,00	a	136,00	a	575,00	a
Fertilizante organomineral torta farelado	9,90	a	226,50	b	107,50	ab	581,75	a
Mineral	11,13	a	224,25	b	98,25	ab	631,50	a
Mineral polimerizado	6,23	a	241,00	b	113,50	ab	496,00	ab
CV (%)	34,25		22,51		21,39		23,8	

¹ Análise foi realizada em amostra de solo tamizado em peneira de 2 mm e umidade de solo como determinada para cada amostra. Os valores são expressos nas unidades das enzimas por massa seca do solo (105° C). As atividades das enzimas foram incubadas a 37° C incubadas por 1 hora (fosfatase, arilsulfatase, β -glicosidase e urease). As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey (p<0,05) de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na variável β -glicosidase no solo, foi verificado o seu maior teor para o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado com valor de 395,00 ug p-NP h⁻¹ g⁻¹ solo, no cultivo do cafeeiro (Tabela 8). Dessa forma, esses dados demonstram que o tratamento em questão apresentou uma maior atividade de β -glicosidase, indicando uma comunidade microbiana ativa e uma boa capacidade de decomposição de matéria orgânica.

De acordo com Adetunji *et al.* (2017), a β -glicosidase é relevante por integrar um complexo multienzimático que hidrolisa a celulose, estando ligada à capacidade do solo de degradar resíduos vegetais e estabilizar a matéria orgânica.

Na Tabela 8, para a variável arilsulfatase, o tratamento com fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado apresenta sua máxima com o valor de 136,00 ug p-NP h⁻¹ g⁻¹ solo, indicando uma boa relação desse fertilizante com fatores que influenciam na diversidade microbiana do solo e no aumento dos níveis de carbono orgânico no solo. A arilsulfatase desempenha um papel vital na ciclagem do enxofre, na disponibilização

de enxofre para as plantas, na decomposição da matéria orgânica e na melhoria da estrutura do solo. O aumento da atividade dessa enzima com o uso deste tipo de fertilizante contribui para as práticas agrícolas sustentáveis e promove a saúde e a produtividade dos solos.

Nessa direção, Vong *et al.* (2003) relatam que a atividade da arilsulfatase está correlacionada com a biomassa microbiana do solo e a taxa de imobilização de enxofre. Além disso, os autores Goux *et al.* (2012) afirmam que foram influenciados por fatores que afetam a atividade microbiana, como pH e níveis de carbono orgânico.

Nesta pesquisa, a análise da enzima de urease no solo revelou o maior teor de 631,50 ug $\text{NH}_3 \text{ g}^{-1}$ solo para o tratamento fertilizante mineral (Tabela 8). A atividade da urease é um indicador importante da atividade microbiana e da qualidade do solo.

Machuca, Cuba-Díaz e Córdova (2015) relatam que a atividade da urease depende de vários fatores ambientais, como, por exemplo, a temperatura do solo, que aumenta a sua atividade.

3.3 MILHO

3.3.1 Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização no milho

No presente trabalho, analisamos as maiores taxas diárias de perdas de amônia por volatilização para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelados no primeiro, quinto, sexto, oitavo, décimo e décimo segundo dia (Tabela 9). A presença de resíduos de celulose farelada deveria causar uma liberação mais lenta e gradual do nitrogênio, pois a celulose é decomposta de forma lenta pelos microrganismos do solo.

De acordo com a Tabela 9, para o tratamento com fertilizante com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelado, as maiores taxas diárias de perda de amônia por volatilização acontecem no segundo, terceiro e quarto dia, no cultivo do milho.

Na cultura do milho, para o tratamento com fertilizante orgânico a base orgânica de resíduos de torta-de-filtro peletizado, as maiores taxas diárias de perda de amônia por volatilização ocorrem no oitavo e vigésimo primeiro dia (Tabela 9).

As análises dos valores médios de amônia volatilizada no quarto, quinto, sextos, oitavo, décimo e vigésimo primeiro dia não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios de amônia volatilizados capturado em 21 dias em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na cultura do milho. Uberlândia/MG, 2022

Milho																						
Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização (kg ha ⁻¹ de N-NH ₃)																						
Fertilizantes	Dias																					
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	21											
Testemunha	0,13	ab	0,09	bc	0,08	b	0,09	A	0,12	a	0,10	A	0,10	a	0,07	a	0,05	A	0,06	a	0,09	b
Fertilizantes organomineral celulose granulado	0,13	ab	0,08	c	0,10	b	0,10	A	0,12	a	0,11	A	0,13	a	0,12	a	0,10	A	0,13	a	0,08	b
Fertilizantes organomineral celulose farelado	0,19	a	0,11	bc	0,14	b	0,18	A	0,18	a	0,16	A	0,14	a	0,14	a	0,12	A	0,12	a	0,11	b
Fertilizantes organomineral torta-de-filtro peletizado	0,11	b	0,11	bc	0,11	b	0,08	A	0,10	a	0,12	A	0,14	a	0,11	a	0,09	A	0,09	a	0,17	a
Fertilizantes organomineral torta-de-filtro farelado	0,14	ab	0,18	a	0,24	a	0,32	A	0,13	a	0,12	A	0,13	a	0,13	a	0,09	A	0,09	a	0,08	b
Mineral polimerizado	0,16	ab	0,13	b	0,09	b	0,11	A	0,11	a	0,08	A	0,13	a	0,07	a	0,08	A	0,08	a	0,11	b
CV (%)	23,18		12,18		32,52		78,68		50,38		44,18		60,66		50,51		39,68		35,46		24,11	

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

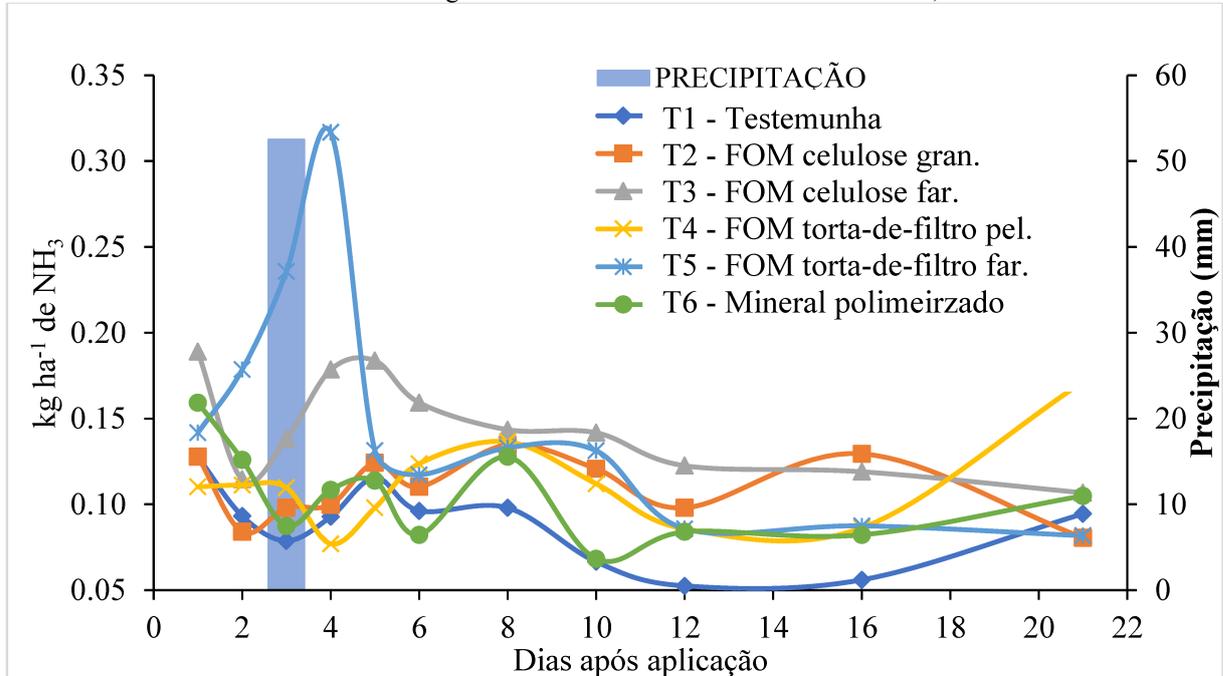
No presente experimento, verificou-se que as menores taxas de perdas diárias ocorreram no fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro peletizado, que ocorreu no primeiro, quarto e quinto dia na cultura do milho (Figura 6). Os pellets apresentam uma capacidade de liberar nutrientes de forma mais controlada e lenta em comparação com fertilizantes sintéticos ou orgânicos sem peletização. Isso se deve ao fato de que a matriz orgânica dos pellets necessita ser lentamente decomposta pelos microrganismos do solo.

Na Figura 6, o fertilizante mineral polimerizado foi analisado, e as menores taxas diárias de perdas ocorrem no sexto, oitavo e décimo dia, no cultivo do milho (Figura 6). Os fertilizantes minerais polimerizados apresentam diversos benefícios em termos de redução das perdas de amônia por volatilização. A liberação controlada de nutrientes, a proteção física proporcionada pela encapsulação polimérica e a menor dependência das condições ambientais resultam em uma diminuição das taxas de volatilidade e um aumento da eficiência no uso do nitrogênio. Essas características tornam os fertilizantes polimerizados uma opção eficiente para aumentar a eficiência dos fertilizantes e incentivar uma agricultura mais sustentável.

É importante salientar que, nas condições de campo em que o experimento foi conduzido, houve uma precipitação de 52,5 mm no terceiro dia, o que influenciou os resultados.

A maioria dos fertilizantes aplicados nos tratamentos foram solubilizados e incorporados ao solo, o que reduz a possibilidade de volatilização destes em grande quantidade (Figura 6).

Figura 6 - Taxas diárias de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Uberlândia/MG, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com Al-Kanani, Mackenzie e Barthakur (1991), as maiores perdas diárias de nitrogênio por volatilização ocorrem nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante. No presente ensaio, a maioria dos fertilizantes avaliados demonstram as maiores perdas diárias de amônia nos seis primeiros dias após a aplicação do fertilizante.

A volatilização da amônia ocorre logo após a aplicação da ureia, devido à sua rápida hidrólise no solo (Lara Cabezas *et al.*, 1999; Rodriguez; Kiehl, 1986), com picos de emissão entre o primeiro e o terceiro dia do sistema plantio direto (Leguizamon Rojas, 2009). A influência da matéria orgânica e dos ácidos húmicos formados pode explicar os resultados apresentados pelos autores.

3.3.2 Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização no milho

No presente trabalho, as maiores taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização ocorrem no fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de torta-de-filtro farelados e nos fertilizantes organominerais com base orgânica em resíduos de celulose

farelados. Com taxas de $1,64 \text{ kg ha}^{-1}$ de amônia e $1,60 \text{ kg ha}^{-1}$ de amônia respectivamente (Figura 7).

Os fertilizantes organominerais baseados em resíduos de torta-de-filtro farelada têm características que podem influenciar significativamente as taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização não solo. Os fertilizantes organominerais com base orgânica em resíduos de celulose possuem características que influenciam a volatilização da amônia, impactando as taxas acumuladas de perdas de amônia no solo.

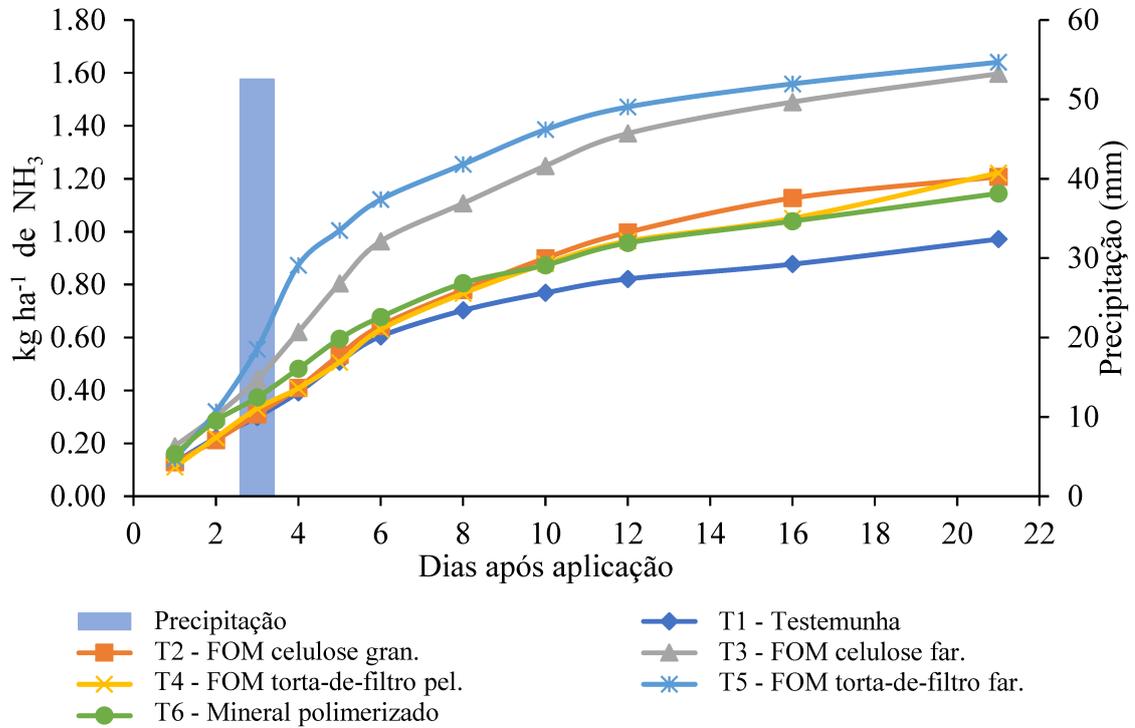
Em seguida, com taxas significativamente inferiores e muito próximas ao fertilizante mineral polimerizado, verificam-se os fertilizantes organominerais nos formatos granulado e peletizado, com taxas de $1,21 \text{ kg ha}^{-1}$ de amônia e $1,22 \text{ kg ha}^{-1}$ de amônia respectivamente (Figura 7).

As menores taxas de volatilização de amônia determinadas resultam dos fertilizantes protegidos, confirmando a eficiência dessa tecnologia no aumento da eficiência dos fertilizantes nitrogenados (Figura 7).

Os fertilizantes minerais polimerizados têm um impacto positivo na redução das taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização não solo. A liberação controlada de nitrogênio, a manutenção da umidade ao redor dos fertilizantes e a incorporação de boas práticas de manejo atualizadas para menores perdas de amônia e maior eficiência do uso de nitrogênio contribuem para isso. Adotar esses fertilizantes pode promover uma agricultura mais sustentável, com menos impacto ambiental e maior produtividade.

Para a volatilização acumulativa de amônia, foi atingido um padrão sigmoidal, com um aumento gradual no início do experimento, atingindo a perda diária máxima e estabilizando-se após isso (Cassim *et al.*, 2021).

Figura 7 - Taxas acumuladas de perdas de amônia por volatilização e precipitação em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Uberlândia, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.3.3 Teores de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total no milho

Nesta pesquisa, realizada em condições de campo na cultura do milho, para os teores do nitrato e nitrogênio total no solo, para essas variáveis, não foi observada variação significativa entre os tratamentos. No teor do amônio, não foi observada variação significativa entre os tratamentos, com exceção da testemunha (Tabela 10).

Tabela 10 - Teores médios de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e nitrogênio total obtidos após 21 dias da aplicação dos fertilizantes no solo, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Uberlândia/MG, 2022

Fertilizantes	Nitrato		Amônio		Nitrogênio total	
	(mg/dm ³)					
Testemunha	0,21	ns	0,03	b	0,27	ns
Fertilizante organomineral celulose granulado	0,92	ns	0,07	a	0,28	ns
Fertilizante organomineral celulose farelado	1,17	ns	0,06	a	0,36	ns
Fertilizante organomineral torta-de-filtro peletizado	1,04	ns	0,06	a	0,26	ns
Fertilizante organomineral torta-de-filtro farelado	0,95	ns	0,06	a	0,22	ns
Mineral polimerizado	1,12	ns	0,06	a	0,34	ns
CV (%)	60,78		21,38		27,22	

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 10 demonstra que os teores de nitrato foram superiores em relação aos teores de amônio. De acordo com Tisdale *et al.* (2005), em solos úmidos e com uma boa disponibilidade de oxigênio, a concentração de nitrato na solução do solo é, geralmente, maior do que a de amônio. De acordo com Silva e Vale (2000), o amônio presente no solo foi oxidado a nitrato por bactérias autotróficas, processo conhecido como nitrificação.

O teor nitrato foi um fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada, apresentou um alto teor de 1,17 mg/dm³, em comparação com outros fertilizantes avaliados. Apesar de o nitrato ser indispensável para o crescimento das plantas, o excesso de nitrato no solo pode causar a lixiviação, o que pode causar problemas ambientais, como a eutrofização. Sendo assim, é crucial monitorar e gerir com cautela os níveis de nitrato no solo.

Para a variável amônio, o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada foi apresentado como o máximo nível de 0,07 mg/dm³, em comparação com outros fertilizantes estudados. Apesar dos inúmeros benefícios, é importante administrar adequadamente os níveis de amônio no solo, pois concentrações excessivas podem ser tóxicas para as plantas e podem causar a acidificação do solo.

O teor nitrogênio total revelou o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado, como o alto teor de 0,36 mg/dm³, no cultivo do milho. Devido ao

alto teor de nitrogênio total, os solos com altos níveis de nitrogênio total são geralmente mais férteis e capazes de sustentar um crescimento saudável das plantas.

4 CONCLUSÕES

Para todos os experimentos realizados, o uso de fertilizantes organominerais à base de resíduos de celulose e mineral com polímero promoveram uma proteção satisfatória quanto à volatilização de amônia, quando comparados aos fertilizantes minerais ureia, demonstrando assim um real potencial de fertilizantes quanto à proteção do nitrogênio em ambos os cultivos realizados.

REFERÊNCIAS

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, [S. l.], v. 55, n. 6, p. 1761-1766, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500060043x>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1991.03615995005500060043x>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- ALVES, Ana Carolina. **Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em pastagem adubada com fontes de nitrogênio**. 2009. 70 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.
- ARAÚJO, Ednaldo da Silva; MARSOLA, Tatiana; MIYAZAWA, Mário; SOARES, Luis Henrique de Barros; URQUIAGA, Segundo; BODDEY, Robert Michael; ALVES, Bruno José Rodrigues. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 44, n. 7, p. 769-76, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2009000700018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/nXFjntn5tyv6SBp4cbrPRQF/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O. Efficient use of N in conventional fertilizers. In: NITROGEN CONFERENCE, 4., Costa do Sauípe, 2007. **Abstracts**, Costa do Sauípe, p. 33, 2007.
- BOHNEN, H. Acidez do solo e calagem. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade de solo**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995. p. 47-72.
- BOUWMAN, A. F.; BOUMANS, L. J. M.; BATJES, N. H. Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. **Global Biogeochemical Cycles**, [S. l.], v. 16. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001GB00181>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2001GB001811>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- BOWLES, Timothy M.; ACOSTA-MARTÍNEZ, Veronica; CALDERÓN, Francisco; JACKSON, Louise E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], 68, 252-262, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071713003398>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, p. 20-44, 2000.
- CANTARELLA, Heitor. Nitrogenio [Nitrogen]. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (orgs.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, Heitor; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze; CONTIN, Teodoro Leonardo Michelucci; DIAS, Fábio Luis Ferreira; ROSSETTO, Rafaella; MARCELINO, Rafael; COIMBRA, Renato Brandan; QUAGGIO, José Antonio. Ammonia volatilisation from urease Inhibitor-treated urea applied to sugarcane Trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000400011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/HZfCwPC7m983vHyvDbxdqsN/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CARDENAS, Laura M.; THORMAN, Rachel; ASHLEE, N.; BUTLER, Mark; CHADWICK, David; CHAMBERS, B.; CUTTLE, Steve; DONOVAN, Neil; KINGSTON, H.; LANE, S.; DHANOA, Mewa S.; SCHOLEFIELD, David. Quantifying annual N₂ O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertilizer nitrogen inputs. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 136, n. 3-4, p. 218-226, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880909003661>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CASSIM, Bruno Maia; KACHINSKI, Wagner Deckij; BESEN, Marcos Renan; CONEGLIAN, Carolina Fedrigo; MACON, Celso Rafael; PASCHOETO, Gabriel Ferrari; INOUE, Tadeu Takeyoshi; BATISTA, Marcelo Augusto. Duromide increase NBPT efficiency in reducing ammonia volatilization loss from urea. **Rev Bras Cienc Solo**, [S. l.], v. 45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210017>. Disponível em: <https://www.rbcsjournal.org/article/duromide-increase-nbpt-efficiency-in-reducing-ammonia-volatilization-loss-from-urea/>. Acesso em: 31 jul. 2024.

CHIEN, Sen H.; PROCHNOW, Luís Ignácio; CANTARELLA, Heitor. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, [S. l.], v. 102, p. 267-322, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211309010086>. Acesso em: 31 jul. 2024.

COSTA, M. C. G.; VITTI, Godofredo Cesar; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fonte nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 631-637, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ypz6D4LPzWDNv9zVvgT7bhL/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

COSTA, Nídia Raquel; ANDREOTTI, Marcelo; LOPES, Keny Ssamejima Mascarenhas; YOKOBATAKE, Kazuo Leonardo; FERREIRA, João Paulo; PARIZ, Cristiano Magalhães; BONINI, Carolina dos Santos Bonini; LONGHINI, Vanessa Zironi. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 39, p. 852-863, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/N4CH5D7w5xxv4gH5S9gzXdR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz. **Fao**, v. 37, p. 1-6, 1988. Disponível em: <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735f8a08fd68d546037e6a>. Acesso em: 31 jul. 2024.

DUARTE, Francisco Mendoza; POCOJESKI, Elisandra; SILVA, Leandro Souza da; GRAUPE, Fabio Adriano; BRITZKE, Darines. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 705-711, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000300016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/spDtjMXV6vgXVB45FCDKyws/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

EPELDE, Lur; BURGÉS, Aritz; MIJANGOS, Iker; GARBISU, Carlos. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, [S. l.], 75, p. 1-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.10.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092913931300245X?via%3Dihub>. Acesso em: 24 jan. 2024.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In... REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000. **Anais**. São Carlos, SP: SIB, p. 255-258, 2000.

FERREIRA, Enderson Petrônio de Brito; STONE, Luis Fernando; MARTIN-DIDONET, Claudia Cristina Garcia. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, [S. l.] 48, 22-31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170003>. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4183/1489>. Acesso em: 24 jan. 2024.

GOUX, Xavier; AMIAUD, Bernard; PIUTTI, Séverine; PHILIPPOT, Laurent; BENIZRI, Emile. Spatial distribution of the abundance and activity of the sulfate ester-hydrolyzing microbial community in a rape field. **Journal of Soils and Sediments**, [S. l.], v. 12, n. 9, p. 1360-1370, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0555-4>. Disponível em: https://www.academia.edu/64172215/Spatial_distribution_of_the_abundance_and_activity_of_the_sulfate_ester_hydrolyzing_microbial_community_in_a_rape_field. Acesso em: 24 jan. 2024.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: Edição do autor, 160 p. 2008.

KRAJEWSKA, Barbara. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of molecular catalysis B: Enzymatic**, [S. l.], v. 59, n. 1-3, p. 9-21, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1381117709000150>. Acesso em: 30 jun. 2024.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 14, p. 345-352, 1990. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000812022>. Acesso em: 30 jul. 2024.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze; BOARETTO, Antonio Eneidi. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da ureia aplicada em superfície na

volatilização da amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 409-413, 1992. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000838582>. Acesso em: 02 jun. 2024.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, ; SANTANA, D. G.; GASCHO, G. J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, PA, v. 30, p. 389-406, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629909370211>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103629909370211>. Acesso em: 24 jan. 2024.

LEGUIZAMON ROJAS, Carlos Andrés. **Dinâmica do nitrogênio no sistema latossolo milho sob sistema plantio direto e preparo convencional, plantas de cobertura de inverno e adubação nitrogenada**. 2009. 199 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LONGO, Regina Márcia; MELO, Wanderley José de. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira Ciências do solo**, [S. l.], 29, p. 645-650, p. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400017>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/63xvhDPsP9FwhWTMjxnm6hw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MACHADO, Vanessa Júnia. **Aplicação de fertilizantes com diferentes tecnologias: volatilização de NH₃**. 2015. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

MACHUCA, A.; CUBA-DÍAZ, M.; CÓRDOVA, C. Enzymes in the rhizosphere of plants growing in the vicinity of the Polish Arctowski Antarctic Station. **Journal of soil science and plant nutrition**, [S. l.], v. 15, p. 833-838, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000057>. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162015000400002. Acesso em: 24 jan. 2024.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil and Tillage Research**, v. 60, n. 3-4, p. 101-122, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198701001763>. Acesso em: 03 jun. 2024.

MCINNES, K. J. FERGUSON, R. B.; KISSEL, D. E.; KANEMASU, E. T. Field measurements of ammonia loss from surface application of urea solution to bare soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 192-196, 1986. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800010038x>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1986.00021962007800010038x>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PERTILE, Mariane; ANTUNES, Jadson Emanuel Lopes; ARAUJO, Fabio Fernando; MENDES, Lucas William; VAN DEN BRINK, Paul J.; ARAUJO, Ademir Sérgio Ferreira.

Responses of soil microbial biomass and enzyme activity to herbicides imazethapyr and flumioxazin. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 10, n. 7694, 2020. DOI: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-64648-3>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341180738_Responses_of_soil_microbial_biomass_and_enzyme_activity_to_herbicides_imazethapyr_and_flumioxazin. Acesso em: 24 jan. 2024.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ROCHETTE, Philippe; MACDONALD, J. Douglas; ANGERS, Denis A.; CHANTIGNY, Martin H.; GASSER, Marc-Olivier; BERTRAND, Normand. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, WI, v. 38, p. 1383-1390, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0295>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19465713/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

RODRIGUES, Mateus A. C.; BUZETTI, Salatiér; TEIXEIRA FILHO, Marcelo C. M.; GARCIA, Cássia M. P.; ANDREOTTI, Marcelo. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p.127-133, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000200001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/JyWKmyH7HYRPTTJkSnS9cXr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

RODRIGUEZ, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego da ureia em diferentes doses em modo de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10. p. 37-43, 1986. Disponível em: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8775369>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SANTOS, João Felinto dos; WANDERLEY, José Alberto Calado; SOUSA JÚNIOR, José Raimundo de. Produção de girassol submetido à adubação organomineral. **Revista Agropecuária Científica do Semiárido**, Patos, v. 9, n. 3, p. 38-44, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v9i3.387>. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/387>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SAVANT, N. K.; JAMES, A. F.; McCLEAN, G. H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, Cambridge, MA, v. 11, p. 231-234, 1987. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NL8804885>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SILVA, Carlos Alberto; VALE, Fabiano Ribeiro do. Disponibilidade de nitrato em solo brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461- 2471, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001200017>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/43TzFc9sBbFd3n8MbxBCpxh/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SMITH, Andrew; JOHNSON, Ian R.; SCHWENKE, Graeme; LAM, She Kee; SUTER, Helen C.; ECKARD, Richard J. Predicting ammonia volatilization from fertilized pastures used for grazing. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 287, p. 107952, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107952>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340416561_Predicting_ammonia_volatilization_from_fertilized_pastures_used_for_grazing. Acesso em: 24 jan. 2024.

STAFANATO, Juliano Bahiense; GOULART, Rosimar de Souza; ZONTA Everaldo; LIMA, Eduardo; MAZUR, Nelson; PEREIRA, Carlos Guerra; SOUZA, Heraldo Namorato. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [S. l.], v. 37, p. 726-732, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/PDXR5wMSkBFkYg3Kn5GfZRx/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

TASCA, Francis Alex; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [S. l.], 35, p. 493-502, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sLFYvMczLq4rf95RKL6YdTJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2024.

TISDALE, Samuel L.; NELSON, Werner .L.; BEATON, James D.; HAVLIN, John L. **Soil fertility and fertilizer: an introduction to nutrient management**. 7^a ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515 p.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília/DF: Embrapa, 2017. 163 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

VONG, P. C.; DEDOURGE, O.; LASSERRE-JOULIN, F.; GUCKERT, A. Immobilized-S, microbial biomass-S and soil arylsulfatase activity in the rhizosphere soil of rape and barley as affected by labile substrate C and N additions. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 35, n. 12, p. 1651-1661. 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.08.012>. Disponível em: https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/2471858. Acesso em: 24 jan. 2024.

WANG, Hao; WANG, Shulan; YU, Qi; ZHANG, Yujiao; WANG, Rui; LI, Jun; WANG, Xiaoli. No tillage increases soil organic carbon storage and decreases carbon dioxide emission in the crop residue-returned farming system. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 261, p. 110261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110261>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32148320/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

WEIL, Ray R.; MAGDOFF, Fred. Significance of soil organic matter to soil quality and health. **Soil organic matter in sustainable agriculture**, p. 1-43, 2004. Disponível em: <https://scholar.dlu.edu.vn/thuviensso/bitstream/DLU123456789/1049/1/6378.rar>. Acesso em: 19 jul. 2024.

WHITEHEAD, David Charles. Volatilization of ammonia. *In*: WHITEHEAD, David Charles. (org.). **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB international, 1995. p. 152-179.

YUSUFF, M. T. M.; AHMED, O. H.; MAJID, N. M. A. Effect of Mixing Urea with Humic Acid and Acid Sulphate Soil on Ammonia Loss, Exchangeable Ammonium and Available Nitrate. *Am. J. Environ. Sci.*, [S. l.], v. 5, p. 588-591, 2009. Disponível em: <https://www.cabdigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103028362>. Acesso em: 15 jul. 2024.

CAPÍTULO 3

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

A fixação ocorre quando acontece a transformação de formas solúveis do fósforo (P) em outras formas menos solúveis. O fósforo é um nutriente que tem uma grande interação com o solo, e essa característica, somada à sua falta em grandes áreas do Brasil, torna esse elemento o mais importante nos programas de adubação. Diversas pesquisas vêm demonstrando que os fertilizantes organominerais conseguiram diminuir o processo natural de fixação do fósforo lábil fornecido ao solo, ficando prontamente disponível às plantas. O objetivo foi avaliar a fixação de fósforo (P) pelos solos de textura argilosa e textura média com a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes fosfatados e em diferentes dosagens. Este experimento foi conduzido em laboratório do campus Umuarama, em recipientes plásticos com capacidade de 500g. Foram utilizados dois tipos solos, coletados no campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e classificados como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) textura argilosa e Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) textura média. No delineamento experimental, foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial duplo 4×4, com quatro repetições, totalizando 64 parcelas. O primeiro fator correspondeu a quatro fontes de fósforo: 1 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelados 05-26-00; 2 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulados 05-26-00; 3 - mineral revestido com polímero e o 4 – mineral. O segundo fator correspondeu a quatro doses de P₂O₅ (0, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Em todos os extratores utilizados, apresentam maiores resultados de fósforo disponível nos tratamentos com fertilizante organomineral e o mineral polimerizado em relação ao com o fertilizante mineral convencional. Com o fósforo mais disponível na solução do solo, houve então uma menor fixação do fósforo quando foram utilizados os fertilizantes organominerais e o mineral polimerizado, que demonstram uma proteção física e química proporcionada por esses fertilizantes.

Palavras-chave: fixação; adubos; nutrientes.

ABSTRACT

Phosphorus (P) fixation occurs when soluble forms of phosphorus are transformed into less soluble forms. Phosphorus is a nutrient that has a great interaction with the soil, and this feature, added to its lack in large areas of Brazil, makes this element the most important in fertilizer programs. Some research has indicated that organomineral fertilizers can slow down the natural process of labile phosphorus fixation supplied to the soil, becoming readily available to plants. This study aimed to evaluate the phosphorus (P) fixation in clay and medium textured soils by applying different types of phosphate fertilizers and in different dosages. The experiment was conducted at the Umuarama campus laboratory, using plastic containers with a capacity of 500g. Two types of soils were used, collected from the Glória campus of the Federal University of Uberlândia (UFU): Dystrophic Red Latosol (LVd) with a clayey texture and typical Dystrophic Red Latosol (LVdt) with a medium texture. The experimental design was completely randomized (DIC) with a double 4×4 factorial scheme, with 4 replications, totaling 64 plots. The first factor corresponded to four sources of phosphorus: 1 - organomineral fertilizer with an organic base from cellulose bran residues 05-26-00; 2 - organomineral fertilizer with an organic base from cellulose granules residues 05-26-00; 3 - polymer-coated mineral and 4 - mineral. The second factor corresponded to four doses of P₂O₅ (0, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅). In all used extractors, the higher results of phosphorus availability was shown in treatments with organomineral fertilizer and polymer-coated mineral fertilizer compared to the conventional mineral fertilizer. With more phosphorus available in the soil solution, there was a lower phosphorus fixation when the organomineral fertilizers and the polymer-coated mineral were used, which demonstrate a physical and chemical protection provided by these fertilizers.

Keywords: fixation; fertilizers; nutrients.

1 INTRODUÇÃO

A fixação é um termo genérico que se aplica à compreensão da transformação de formas solúveis do fósforo em outras formas menos solúveis. Qualquer evento que cause um decréscimo na concentração do íon ortofosfato em uma solução em contato com o solo é responsável pela “fixação”. A fixação do fósforo é, portanto, uma questão complexa (Catani; Pellegrino, 1960).

A elevada capacidade de fixação de P em solos intemperizados há muito é conhecida (Lopes; Cox, 1977; Novais; Smyth; Nunes, 2007). O P é um nutriente que apresenta elevada interação com o solo. Essa particularidade, associada à sua deficiência em imensas áreas do território brasileiro, faz desse elemento o mais crítico nos programas de adubação nas últimas décadas (Raij, 2011).

Nesse aspecto, o fósforo (P) é considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo, comportamento atribuído à sua “fixação” pelos minerais da argila, e esse elemento é relevante nos solos tropicais. Em geral, o fósforo utilizado como fertilizante é aproveitado pelas culturas anuais em solos tropicais, o que requer a aplicação de quantidades que, em geral, excedem significativamente as extrações dessas culturas (Lopes *et al.*, 2004).

Ele é muito importante nos solos tropicais. Assim, a quantidade de fósforo fixada por um solo depende de uma série de fatores, como: concentração de fosfato da solução, pH da solução, tempo de reação, temperatura, relação entre o peso da amostra de solo estudado e volume da solução e características físico-químicas do próprio solo (Catani; Pellegrino, 1960).

Nos solos da região do Cerrado, os teores de P são muito baixos. Associada a essa característica, a alta capacidade que esses solos têm para reter o nutriente na fase sólida constitui a principal limitação de qualquer produção agrícola rentável sem a aplicação de fertilizantes fosfatados (Martinhão *et al.*, 2004).

Ademais, dentre os aspectos adversos ligados à baixa fertilidade dos solos do mundo, a alta acidez associada à toxidez por Al e as baixas reservas de K merecem destaque. No caso das regiões tropicais e subtropicais, além desses aspectos, também a alta capacidade de fixação de P é um importante fator determinante da baixa fertilidade dos solos (Wood; Sebastian; Scherr, 2000).

Dessa forma, os fertilizantes fosfatados adicionados ao solo dissolvem-se e migram para a solução do solo, mas, em decorrência da baixa solubilidade dos compostos formados no solo e da forte tendência de adsorção, a maioria do elemento fica retida na fase sólida como P lábil, passando gradativamente a P não lábil (Raij, 2011).

Além disso, o fertilizante organomineral, quando comparado ao fertilizante mineral, tem um potencial químico reativo relativamente menor, mas sua solubilização é progressiva ao longo do desenvolvimento da cultura, quando a eficiência agronômica pode ser maior quando comparado com os fertilizantes minerais solúveis (Kiehl, 2008).

Segundo Ferreira (2014), os fertilizantes organominerais conseguem melhorar a eficiência agronômica das adubações. Esse tipo de fertilizante diminui o processo natural de fixação do fósforo lábil fornecido ao solo, ficando prontamente disponível às plantas por um longo período. Para nutrientes minerais móveis no solo, como nitrogênio e boro, a disponibilização gradativa proporciona maior aproveitamento das plantas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a fixação de fósforo (P) pelos solos de textura argilosa e textura média com a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes fosfatados e em diferentes dosagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no laboratório do campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, em Minas Gerais, nos dias 07 de dezembro de 2020 a 07 de fevereiro de 2021. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), com textura argilosa (Santos *et al.*, 2018), e foi retirado da fazenda experimental do campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia.

Após a coleta do solo, foi peneirado em uma malha de 4 mm e misturado com calcário dolomítico com PRNT de 90%, teor de CaO 46% e 8% de MgO na proporção de 14 g por vaso. Os solos foram incubados por 60 dias, para corrigir o pH e elevar a saturação de base para 69%.

Depois da incubação do solo, como parcela experimental, foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 500g, onde dentro destes foram colocados 240 g de solo e aplicados os tratamentos propostos.

A Tabela 11 apresenta as características químicas e físicas do solo usado no experimento após a incubação com calcário.

Tabela 11 - Caracterização química e física do solo após correção com calcário. Uberlândia/MG, 2022

Características químicas										
pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P res.	K ⁺	H+Al	CTC	SB	
1:2,5		---	cmol _c dm ⁻³	---	--	mg dm ⁻³	--	---	cmol _c dm ⁻³	---
4,9	45,8	1,64	0,88	0,0	2,8	33,3	1,19	3,8	2,61	
t	M.O.	C.O.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m	
cmol _c dm ⁻³	--- dag kg ⁻¹	---	-----			mg dm ⁻³	-----	-----	%	---
	2,2	1,3	0,29	0,96	16	1,72	4,8	69	0	
Características físicas										
Solo	Areia total			Silte			Argila			
	----- g kg ⁻¹ -----									
	190			125			685			

pH em H₂O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) P disponível (extrator Mehlich-1); S em fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹; H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA 0,005 mol L⁻¹ + TEA 0,1 mol⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ a pH 7.3) cmol_c dm⁻³ x 10 = mmol_c dm⁻³ / mg dm⁻³ = ppm / dag kg⁻¹ = %; CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio; M.O. = Método Colorimétrico; Metodologias baseadas em Embrapa (2009). Análise Textual pelo método da Pipeta (Embrapa, 1997).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x4 com 4 repetições, totalizando 64 parcelas, cada uma representada por um pote plástico. O primeiro fator correspondeu a 4 fontes de fósforo: 1 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado 05-26-00; 2 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulado 05-26-00; 3 - fertilizante mineral revestido com polímero e o 4 - mineral. O segundo fator foi composto por quatro doses de P_2O_5 (0, 200 $kg\ ha^{-1}$, 400 $kg\ ha^{-1}$ e 800 $kg\ ha^{-1}$) (Tabela 12).

Tabela 12 - Formulações e os valores de cada fonte. Uberlândia/MG, 2022

Formulações	Doses							P
	0	1	2	3	1	2	3	
	0	200	400	800	200	400	800	
Fontes		kg.ha P_2O_5				g . pote		
Fertilizante organomineral celulose farelado	0	769	1538	3076	0,12	0,23	0,46	26
Fertilizante organomineral celulose granulado	0	769	1538	3076	0,12	0,23	0,46	26
Mineral polimerizado	0	384	769	1538	0,06	0,12	0,23	52
Mineral	0	384	769	1538	0,06	0,12	0,23	52

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nos cálculos para adubações, considerou-se o volume de solo em um hectare a uma profundidade dada de 20 cm e calculou-se este valor em 2000000 dm^3 . Assim, considero cada pote contendo 0,3 kg ou 0,30 dm^3 de solo, obtendo assim os valores demonstrados na Tabela 12.

2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os fertilizantes foram misturados com 240g de terra seca ao ar e peneirada. Depois disso, o solo foi colocado em recipientes de plástico e adicionado água destilada até atingir a capacidade de campo. Para avaliar a capacidade de campo, foram utilizados 100 g de solo, adicionados 100 ml de água, 38 ml de água perdida e 62 ml de água retida. Dessa forma, foi estabelecido que 62 ml de água são suficientes para atingir 100%, portanto, para calcular para 80%, foram obtidos 50 ml de água.

Depois de 60 dias da incubação do solo, juntamente com os fertilizantes (tratamentos), foram realizadas as análises das áreas experimentais para determinar o fósforo presente no solo através dos extratores Mehlich-1, resina e remanescente.

As amostras de solo para análises e determinação do fósforo foram enviadas para o laboratório de análises de solos da Universidade Federal de Uberlândia e realizadas de acordo com a metodologia descrita pela Embrapa (2009).

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Inicialmente, foram testadas as pressuposições de normalidade de resíduos (KS-corrigido por Lilliefors), homogeneidade das variâncias (Levene) e utilização do programa SISVAR. Posteriormente, os dados obtidos foram submetidos a análises de variância. Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey com 5% de significância com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FÓSFORO (EXTRATOR RESINA)

Neste ensaio, a análise do fósforo pelo extrator resina indica a quantidade de fósforo que está disponível para as plantas, simulando a absorção pelas raízes. Os resultados analisados mostraram que a variável fósforo disponível no extrator resina apresentou os maiores valores para o tratamento com fertilizante mineral polimerizado nas doses de 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 13). Os elevados níveis de fósforo extraído pela resina indicam uma baixa fixação de fósforo. Em solos com baixa fixação, os fertilizantes fosfatados são usados de forma mais eficiente, menos fósforo foi perdido para formas não disponíveis. Isso pode reduzir a necessidade de fertilizante e diminuir os gastos de produção.

Os fertilizantes minerais polimerizados aumentam a disponibilidade de fósforo no solo, especialmente quando medidos pelo extrator de resina. Isso ocorre devido ao seu mecanismo de liberação controlada, que fornece fósforo de forma mais eficiente e prolongada. Esse processo ajuda a manter o fósforo disponível para as plantas por um período mais longo, reduzindo a fixação do fósforo pelo solo e aumentando a eficiência do uso do fertilizante (Nanzyo; Kurosaki; Yamasaki, 1997; Volf; Rosolem, 2020).

De acordo com Sousa e Alleoni (2022), a baixa fixação de fósforo é benéfica para a produção agrícola por permitir maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, resultando em melhor crescimento e rendimento das culturas.

A Tabela 13 apresenta os menores teores que foram para o fertilizante mineral convencional nas doses de 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os baixos níveis de fósforo na resina indicam que grande parte do fósforo está fixada em formas insolúveis e não está disponível para as plantas.

Tabela 13 - Teores de Fósforo (Resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Fontes	Resina (mg/dm ³)							
	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)							
	0	200	400	800				
Fertilizante organomineral celulose farelado	1,5	a	4,9	d	19,7	ab	14,1	b
Fertilizante organomineral celulose granulado	1,6	a	18,6	b	16,0	bc	15,1	ab
Mineral polimerizado	1,5	a	26,1	a	23,3	a	19,5	a
Mineral convencional	1,6	a	11,1	c	12,6	c	8,8	c

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

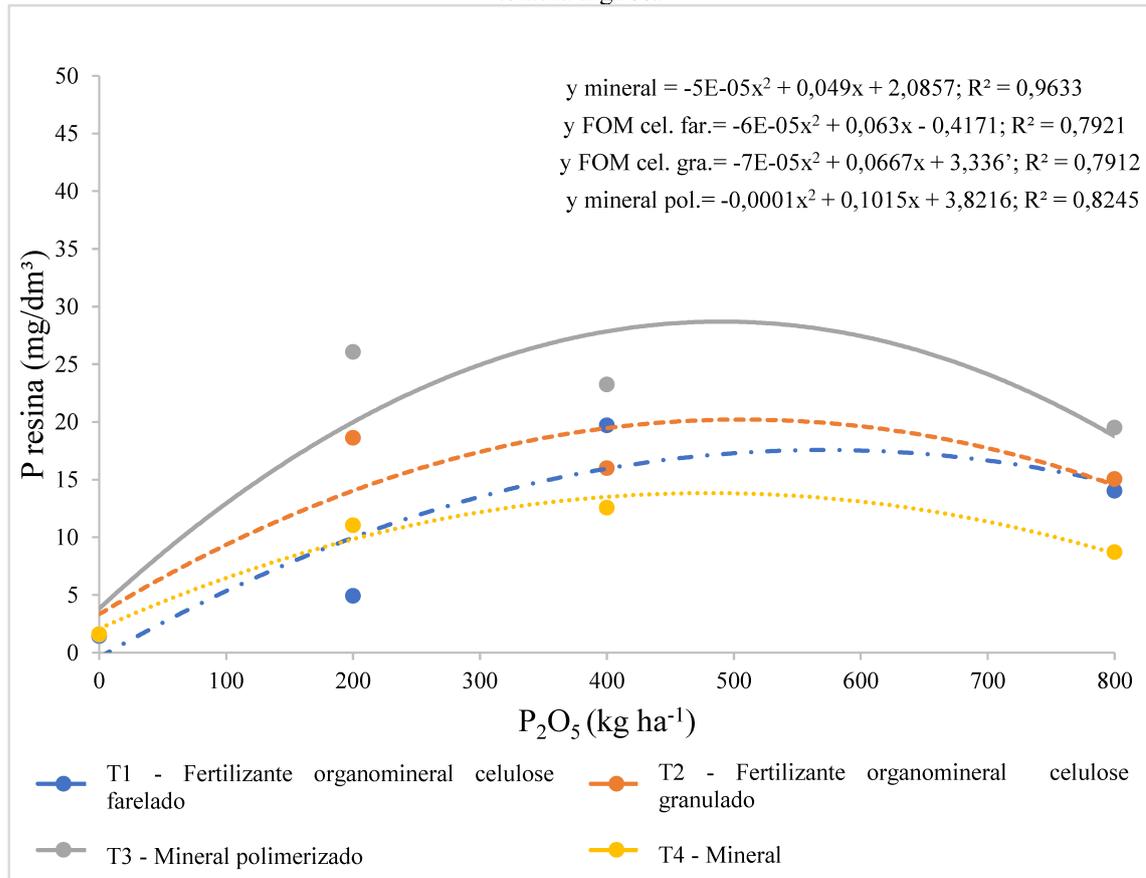
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com Fageria (2016), a análise de fósforo pelo extrator resina é crucial para determinar a disponibilidade real de fósforo no solo, auxiliando na gestão eficiente da fertilização e na maximização da produtividade das culturas.

Na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulado ficou igual ao mineral protegido. Nesta mesma dose de P₂O₅ estudada, verificou-se que o fertilizante organomineral com base em resíduos de celulose granulado resultou em teores de fósforo superiores ao mineral (Figura 8).

Os fertilizantes organominerais apresentam resultados semelhantes ao mineral polimerizado, mostrando uma média proteção proveniente da matriz orgânica que está envolvida no grânulo de fósforo (Figura 8).

Figura 8 - Teores de fósforo (Resina) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A análise do fósforo pelo extrator de resina é importante porque fornece uma estimativa da quantidade de fósforo disponível para as plantas em condições próximas aos naturais. A baixa fixação de fósforo é benéfica, pois significa que mais fósforo permanece disponível para a absorção pelas plantas, aumentando a eficiência do fertilizante aplicado (Nanzyo; Kurosaki; Yamasaki, 1997).

Mariotto (2009) afirma que a resina tem mais capacidade de extrair P do que o Mehlich-1. Ao colocar suíno em um solo vermelho distroférico, a resina extraiu cerca de 50% mais do que o Mehlich-1.

3.2 FÓSFORO (EXTRATOR MEHLICH 1)

No presente estudo, os valores da variável correspondem ao extrator Mehlich 1, não foi observada variação significativa em nenhuma das 4 doses de P_2O_5 e entre as fontes (Tabela 14).

Barbosa, Santos e Tucci (2013) relatam que o extrator Mehlich-1 é um extrator com maior facilidade de execução, porém com algumas limitações, em decorrência da sensibilidade

ao fator capacidade de P (FCP), e possui maior poder de extração de P quando comparado com outros extratores, principalmente em solos com maior quantidade desse nutriente, pelo fato de ser uma solução ácida ($\text{pH} < 4$).

Conforme relatado por Rajj (1999), a análise do solo usando Mehlich-1 fornece uma base científica para a recomendação de fertilizantes, garantindo uma aplicação eficiente e econômica.

Os laboratórios de análises de solo na maior parte do Brasil utilizam o extrator M1 para determinar a disponibilidade de P para as culturas (Gonçalves *et al.*, 2012), pela tradição e menor custo.

Tabela 14 - Teores de fósforo (Mehlich-1) no Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), textura média. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Fontes	Mehlich-1 (mg/dm^3)							
	P_2O_5 (kg ha^{-1})							
	0		200		400		800	
Fertilizante organomineral celulose farelado	1,5	a	17,4	a	49,4	a	84,2	a
Fertilizante organomineral celulose granulado	1,7	a	26,7	a	46,9	a	93,3	a
Mineral polimerizado	1,2	a	43,3	a	33,1	a	76,6	a
Mineral	2,7	a	30,9	a	41,3	a	63,3	a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O alto teor de fósforos medidos pelo extrator Mehlich-1 indica haver uma quantidade significativa de fósforos disponível no solo para as plantas. Isso ocorre porque o Mehlich-1 solubiliza o fósforo que está em formas facilmente disponíveis para a absorção pelas plantas, permitindo que essa quantidade seja medida diretamente.

Neste experimento, na dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o fertilizante mineral polimerizado apresentou o maior teor para o fósforo avaliado pelo extrator Mehlich-1 (Figura 9). O fertilizante polimerizado por ser solúvel, devido a um aumento da concentração de fósforo disponível no solo, resultou nos maiores valores de fósforo no extrator Mehlich-1.

Segundo estudos de Saigusa *et al.* (2001), os fertilizantes revestidos com polímeros, como o polyolefin, demonstram uma maior eficiência na disponibilização de fósforo em solos tratados. Isso resulta em uma maior concentração de fósforo disponível quando medido por métodos como o Mehlich-1.

Shaviv (2001) confirma que a liberação lenta de nutrientes por fertilizantes polimerizados melhora a eficiência de uso de fósforo, aumentando sua disponibilidade no solo conforme detectado pelo extrator Mehlich-1.

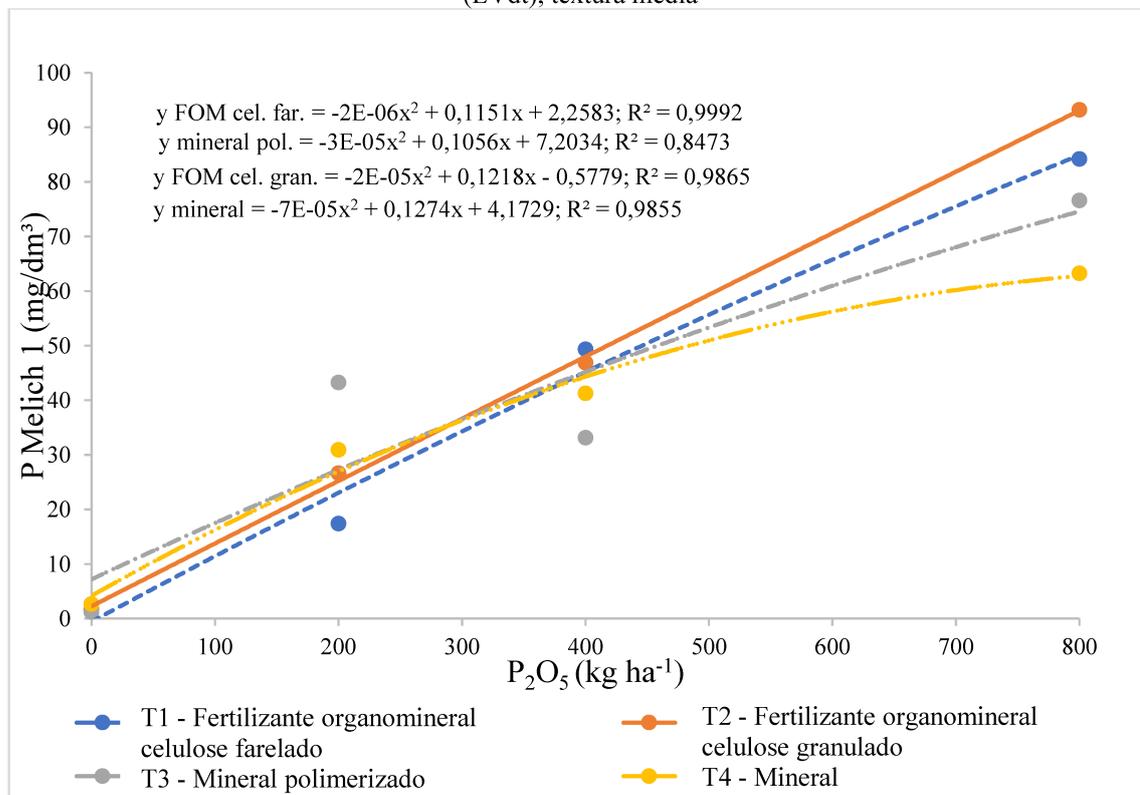
Na Figura 9, uma dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o fertilizante organomineral com base em resíduos de celulose farelado foi apresentada como a sua máxima. A adição de celulose farelada pode melhorar a estrutura do solo e a capacidade de retenção de nutrientes, o que deve ter ajudado a aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas.

O fertilizante organomineral com base em resíduos de celulose granulada apresentou seu maior valor na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 9).

Esses teores elevados contabilizados no experimento mostram que o fósforo disponível pelo extrator Mehlich-1 sugere que o fósforo permanece em formas solúveis e prontamente disponíveis para as plantas, indicando baixa fixação.

Na Figura 9, é possível observar que houve tendência de regressão linear para quase todas as doses e fontes, explicando os resultados do presente trabalho, no qual foi utilizado o método Mehlich-1 de remoção.

Figura 9 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), textura média



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Bahia Filho *et al.* (1983) afirmam que, em solos argilosos, a quantidade de P extraída por Mehlich-1 é menor, pois, com o aumento do teor de argila, a capacidade extrativa diminui pelo consumo de íons H^+ e sulfato do extrator, pelos grupos funcionais não ocupados pelo P nos coloides inorgânicos e pela fixação de P aos coloides durante a limpeza. Nos resultados, o teor de argila pode ter liberado mais íons H^+ .

A solução de M1 (Mehlich, 1953) tem sua origem pela solubilização pelos íons H^+ , de fosfatos de cálcio e pequenas porções de fosfatos de alumínio. O M1 é eficiente na extração de P ligado ao Ca, enquanto, para a maioria das culturas, essa forma de P é absorvida parcialmente ou não é absorvida. Aliada a isso, os solos brasileiros são altamente intemperizados, em sua maioria, com altos teores de óxidos de Fe e Al predominantes na fração argila, assim, ocorre diminuição da capacidade extrativa do método (Bortolon; Gianello; Schindwein, 2009).

3.3 FÓSFORO (EXTRATOR REMANESCENTE)

Nesta pesquisa, foi constatado que, na dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , os maiores níveis de fósforo remanescente foram encontrados para o tratamento com fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de celulose granulada. Para o tratamento com fertilizante mineral polimerizado, os maiores valores foram verificados na dose de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Na dose de 800 kg ha^{-1} de P_2O_5 , foi destacado o uso de fertilizante mineral (Tabela 15). Esses níveis elevados de fósforo que ainda permanecem indicam baixa fixação, mostrando que o fósforo permanece solúvel e disponível para as plantas.

A combinação de componentes orgânicos e minerais no fertilizante organomineral promove a liberação lenta e contínua de fósforo no solo, resultando em uma maior quantidade de fósforo disponível para as plantas por um período mais prolongado e reduzindo a fixação nos coloides do solo. Essa liberação gradual melhora a eficiência agrônômica do fósforo aplicado. Os resíduos de celulose granulada enriqueceram a matéria orgânica do solo, promovendo a atividade microbiana que ajuda na mineralização e disponibilização do fósforo.

O fertilizante organomineral que utiliza resíduos de celulose granulada pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo ao reduzir a fixação desse nutriente nos coloides do solo. Isso ocorre porque a combinação de matéria orgânica e fertilizantes minerais proporciona uma liberação gradual e sustentada de fósforo, aprimorando sua eficiência agrônômica e prolongando sua disponibilidade para as plantas por mais tempo (Sousa, 2014).

Os fertilizantes minerais polimerizados são projetados para liberar nutrientes de forma controlada e gradual, o que reduziu a taxa de fixação do fósforo pelos coloides do solo. Essa

liberação lenta e sustentada mantém o fósforo disponível por mais tempo, aumentando a eficiência do uso do fertilizante e a quantidade de fósforo extraível pelo método do extrator remanescente. A camada polimérica dos fertilizantes minimiza as interações imediatas entre o fósforo e os componentes fixadores do solo, como os óxidos de ferro e alumínio, resultando em uma menor fixação inicial e em uma elevada disponibilidade de fósforo para as plantas.

Os fertilizantes minerais podem tanto aumentar quanto diminuir o fósforo disponível no solo, dependendo de vários fatores, como o tipo de solo e a formulação do fertilizante. Os fertilizantes minerais podem inicialmente aumentar a disponibilidade de fósforo, fornecendo uma fonte direta e imediata de nutrientes para as plantas. Em solos com alta capacidade de fixação, como os tropicais, o fósforo aplicado pode ser rapidamente fixado por óxidos de ferro e alumínio, reduzindo a disponibilidade do fósforo remanescente. A interação do fósforo com os componentes do solo pode formar compostos insolúveis, diminuindo a quantidade de fósforo extraído pelo método do extrator remanescente.

De acordo com Alvarez *et al.* (2000), o P-rem é a quantidade de P adicionada que fica na solução de equilíbrio após um certo tempo de contato entre solo e solução.

Tabela 15 - Teores de fósforo (Remanescente) Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Remanescente (mg/dm ³)							
	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)							
	0	200	400	800	0	200	400	800
Fertilizante organomineral celulose farelado	20,5	b	42,9	a	39,8	ab	43,4	a
Fertilizante organomineral celulose granulado	25,4	a	44,8	a	41,1	a	43,1	a
Fertilizante organomineral Mineral polimerizado	22,8	b	42,9	ab	45,8	a	45,6	a
Mineral	19,7	b	33,4	ab	36,0	ab	49,5	a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

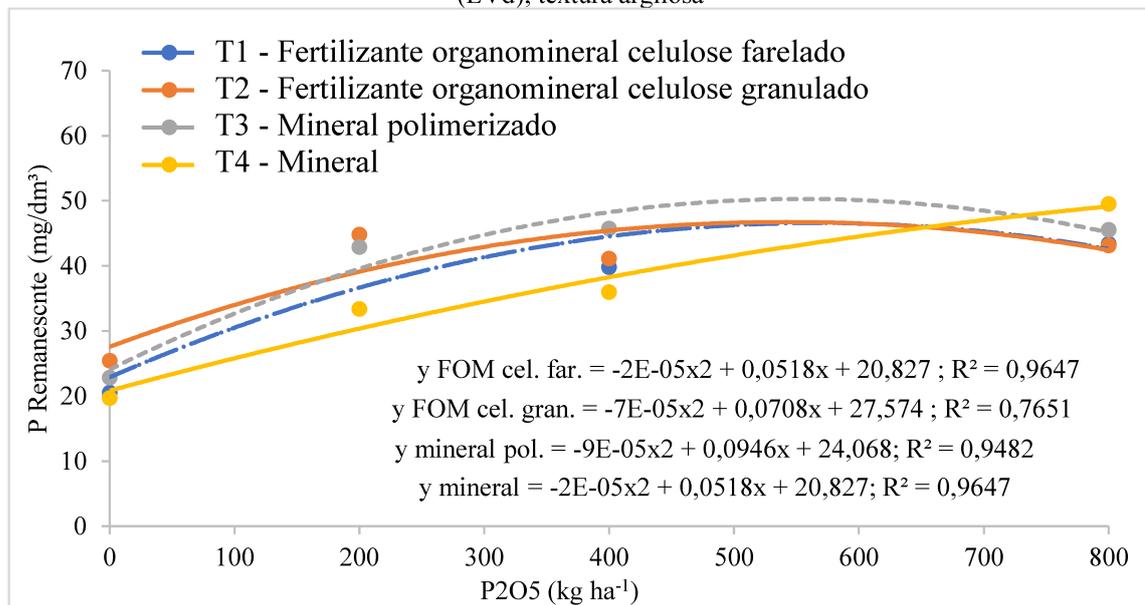
Na Tabela 15, o fertilizante mineral apresentou os menores valores para as doses com 200, 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o valor menor foi para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada. Os resultados baixos de fósforo remanescente são indicativos de uma alta fixação de fósforo no solo. Isso ocorre porque o fósforo aplicado é rapidamente adsorvido e retido pelos colóides do solo, como óxidos de ferro e alumínio, tornando-se indisponível para as plantas.

Segundo Novais e Smyth (1999), essa situação é comum em solos tropicais, onde a reatividade dos minerais do solo favorece a formação de compostos de fósforo de baixa solubilidade.

Para o mineral convencional, com sua diminuição no fósforo, possivelmente ocorreu poque em solos com alta capacidade de fixação, como os tropicais, o fósforo aplicado pode ser rapidamente fixado por óxidos de ferro e alumínio, reduzindo a disponibilidade do fósforo remanescente. A interação do fósforo com os componentes do solo pode formar compostos insolúveis, diminuindo a quantidade de fósforo extraído pelo método do extrator remanescente.

O fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada apresentou esses valores menores de fósforo, provavelmente porque os resíduos de celulose granulada podem ter interagido com componentes do solo, formando complexos que reduzem a disponibilidade de fósforo. A matéria orgânica pode aumentar a capacidade do solo de adsorver fósforo, tornando-o menos disponível para as plantas. A adição de matéria orgânica talvez tenha estimulado a atividade microbiana, resultando em maior imobilização de fósforo pelos microrganismos.

Figura 10 - Teores de fósforo (Remanescente) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa



Fonte:

De maneira geral, foi constatado que os tratamentos com fertilizantes organominerais e mineral com polímero apresentaram os melhores resultados de P-remanescente em comparação ao fertilizante mineral, com exceção da dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na qual o fertilizante

mineral se sobressaiu sobre os outros (Figura 10). Dessa maneira, pode-se concluir que o uso de polímeros nos fertilizantes e o recobrimento com matrizes orgânicas podem diminuir a fixação de fósforo nos fertilizantes fosfatados.

O P-remanescente (P-rem) foi estudado para identificar as propriedades químicas do solo, ou seja, para enquadrar os níveis de P presentes no solo. O gráfico P-rem mostra o percentual remanescente de P na solução do solo após a adição e agitação de uma concentração conhecida de P, estando fortemente ligado à capacidade tampão de P e à capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) desses solos (Alvarez *et al.*, 2000).

4 CONCLUSÕES

Os extratores utilizados para extração de fósforo apresentam maiores porcentagens de fósforo disponível nos tratamentos com fertilizante organomineral e o mineral polimerizado em relação ao com o fertilizante mineral convencional.

Com o fósforo mais disponível na solução do solo, houve então uma menor fixação do fósforo quando utilizados os fertilizantes organominerais e o mineral polimerizado, demonstrando a proteção física e química proporcionada por esses fertilizantes.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E, OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 27-32, 2000. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000070&pid=S1413-7054201000010000700002&lng=en. Acesso em: 13 jan. 2024.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 243-249, 1983. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/471632/1/Sensibilidadextratores.pdf> . Acesso em: 13 jan. 2024.
- BARBOSA, Tainah Manuela Benlolo; SANTOS, José Zilton Lopes; TUCCI, Carlo Alberto Franco. Eficiência de diferentes extratores de fósforo em solos do Estado do Amazonas. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais...** Florianópolis, SC. p1 a 4. agosto de 2013. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/1615.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- BORTOLON, Leandro; GIANELLO, Clesio; SCHLINDWEIN, Jairo André. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. **Scientia Agraria**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 305-312, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v10i4.14728>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/14728>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- CATANI, R. A.; PELLEGRINO, D. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, 17, 1960. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0071-12761960000100003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/hVNsWSfL3xQG7QVQXGhsMgz/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009. 628 f.
- FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras. v.6, p. 36-41, 2008. Disponível em: <https://des.ufla.br/~danielff/meusarquivospdf/art63.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- FERREIRA, Natália Rodrigues. **Eficiência agronômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluidos em relação à disponibilidade de fósforo**. 2014. 78 f. Dissertação – (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Botucatu, 2014.
- FAGERIA, Nand Kumar. **Use of nutrients in crop plants**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

GONÇALVES, Gustavo Kruger; BORTOLON, Leandro; MEURER, Egon José; GONÇALVES, Daiana Ribeiro Nunes; SOUSA, Rogério Oliveira de; FAGUNDES, Saul Mandrácio. Extratores de fósforo para o arroz irrigado em solos adubados com fósforo natural reativo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages v. 11, n. 3, p. 196-204, 2012. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5254>. Acesso em: 13 jan. 2024.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**. 2ª ed. Piracicaba: Degaspari, 2008. 160 p.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 3, p. 742-747, 1977. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100040026x>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj1977.03615995004100040026x>. Acesso em: 13 jan. 2024.

LOPES, Alfredo Scheid; WIETHÖLTER, Sírio; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; SILVA, Carlos Alberto. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/Sistema_Plantio_Direto.pdf. Acesso em: 13 jan. 2024.

MARIOTTO, James Rodrigues. **Fósforo microbiano e extraível em latossolo com adição de dejetos suíno sob plantio direto de milho**. 2009. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina soil testing laboratories**. Raleigh: University of North Carolina, 1953. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000081&pid=S0100-0683201000050002700010&lng=es. Acesso em: 13 jan. 2024.

NANZYO, Masami; KUROSAKI, Hidetada; YAMASAKI, Shin-Ichi. **Plant nutrition for sustainable food production and environment [Internet]**. Dordrecht: Springer Netherlands; 1997. p. 625-30. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-0047-9_198. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-0047-9_198. Acesso em: 13 jan. 2024.

NOVAIS, Roberto F.; SMYTH, T. Jot. **Fósforo em solo e planta sob condições tropicais**. Raleigh: Universidade Federal de Viçosa – University North Carolina, 1999. 399 p. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/241DADE2FCFB2F1783257B8D004C15FF/\\$FILE/page10-11-87.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/241DADE2FCFB2F1783257B8D004C15FF/$FILE/page10-11-87.pdf). Acesso em: 13 jan. 2024.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 276-374. 2007. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/14671/1/12.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

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

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira; OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SHAVIV, Avi. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, [S. l.], v. 1, p. 1-49, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211301710115>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 157-200. Disponível em: [http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/78429ADDBF7C6D5183257AA2005C6827/\\$FILE/Encarte102.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/78429ADDBF7C6D5183257AA2005C6827/$FILE/Encarte102.pdf). Acesso em: 13 jan. 2024.

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia; Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, 2014.

SOUSA, Rodrigo Nogueira de; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferracciú. Performance of Struvite and Organomineral Fertilizers Compared to Traditional Source of Phosphorus in Maize Cultivation on Tropical Soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [S. l.], p. 1-22, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01906-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-024-01906-7>. Acesso em: 13 jan. 2024.

VOLF, Marcelo R.; ROSOLEM, Ciro A. Soil P diffusion and availability modified by controlled-release P fertilizers. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [S. l.], v. 21, p. 162-172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00350-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00350-7>. Acesso em: 13 jan. 2024.

WOOD, Stanley; SEBASTIAN, Kate; SCHERR, Sara J. Soil resource condition. In: WOOD, Stanley; SEBASTIAN, Kate; SCHERR, Sara J. (orgs.). **Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems**. A joint study by the International Food Policy Research Institute and World Resources Institute. Washington, 2000, p. 45-54. Disponível em:

https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/pdf/page_agroecosystems.pdf. Acesso em: 14 jan. 2024.

CAPÍTULO 4

LIXIVIAÇÃO DOS NUTRIENTES EM COLUNAS, EM FUNÇÃO DA TEXTURA, DA DISPONIBILIDADE E DAS FONTES DOS NUTRIENTES APLICADOS AOS SOLOS

RESUMO

As aplicações de fertilizantes contribuem para o aumento da produtividade agrícola, porém, para serem eficientes, precauções devem ser tomadas quando os insumos não são aplicados corretamente, podendo causar a contaminação das águas subterrâneas devido à lixiviação. Baixos teores de carbono orgânico reduzem a capacidade de troca catiônica dos solos, propiciando aumento da lixiviação dos elementos neles contidos, indicando assim que esses solos possuem menor sustentabilidade sob este aspecto. Este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica de movimentação do potássio e do fósforo no perfil do solo, de acordo com a textura do solo e a fonte do nutriente aplicado. O experimento foi realizado em casa de vegetação no campus Glória e no laboratório de fertilidade do solo no campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Os solos utilizados foram classificados como Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 6×2 , com 6 tratamentos em 2 solos com diferentes texturas, em 3 repetições, totalizando 24 colunas (PVC) de lixiviação (parcelas experimentais). Nas colunas de PVC, foram utilizadas seis fontes de fertilizantes: 1 - sem adubo; 2 - KCl, MAP e ureia - mineral 18-18-18; 3 - mineral especial de base nítrica e amoniacal 16-16-16; 4 - KCl, MAP e ureia - mineral polimerizado 15-15-15; 5 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada, KCl e MAP 10-10-10; e 6 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada, KCl e MAP 08-08-08. A parcela experimental foi composta por uma coluna de lixiviação de tubo de PVC, de 80 cm de altura e 20 cm de diâmetro. Cada coluna foi constituída por 10 anéis de PVC, com 10 cm de altura. Para a variável potássio (K), nas duas texturas de solo estudadas, verificou-se uma maior lixiviação para o K no fertilizante KCl, MAP, ureia – mineral. A variável fósforo (P) pelo extrator de Mehlich-1, na profundidade de 10–20 cm e o fertilizante com KCl, MAP, ureia – mineral, foi o que obteve maior teor em ambos os solos estudados. Para o fósforo pelo extrator de resina, os maiores valores, nas duas texturas de solos estudados, foram obtidos profundidade de 0-10 cm, se destacando o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado, KCl e MAP. Os teores de potássio por Mehlich-1, fósforo por Mehlich-1 e fósforo por resina foram maiores no solo de textura arenosa quando comparado com o solo de textura argilosa.

Palavras-chave: lixiviação; potássio; fósforo.

ABSTRACT

Fertilizer applications contribute to increased agricultural productivity. However, to be efficient, precautions must be taken during the inputs application, as improper use can lead to contamination of the groundwater through leaching. Lower organic carbon levels may reduce the cation exchange capacity in soils, leading to increased leaching of the elements contained in them, which indicates that these soils have less sustainability. This study aims to analyze the movement dynamics of potassium (K) and phosphorus (P) in the soil profile, according to soil texture and the source of the applied nutrient. The experiment was conducted in a greenhouse at the Glória campus and in the soil fertility laboratory at the Umuarama campus of the Federal University of Uberlândia (UFU). The soils used were classified as Orthic Quartzarenic Neosol (RQo) with sandy texture, and Dystrophic Red Latosol (LVd) with clayey texture. The experimental design was completely randomized (DIC), with a 6×2 factorial scheme, involving 6 treatments across 2 soils with different textures, with 3 replications, totaling 24 columns (PVC) of leaching (experimental plots). In the PVC columns, six sources of fertilizers were used: 1 - no fertilizer; 2 - KCl, MAP and Urea - mineral 18-18-18; 3 - special nitric and ammonia-based mineral 16-16-16; 4 - KCl, MAP and Urea - polymer-coated mineral 15-15-15; 5 - organomineral fertilizer (OMF) with an organic base from cellulose bran residues, KCl and MAP 10-10-10; and 6 - organomineral fertilizer with an organic base from cellulose granules residues, KCl and MAP 08-08-08. Each experimental plot was composed of a PVC leaching column, 80 cm high and 20 cm in diameter. Each column was composed of 10 PVC rings, each 10 cm tall. For potassium (K), in the two studied soil textures, there was a higher leaching with fertilizer KCl, MAP, urea – mineral. The phosphorus (P) variable with Mehlich-1 extraction at a depth of 10–20 cm, and the fertilizer with KCl, MAP, urea – mineral obtained the highest levels in both studied soils. Using the resin extractor for phosphorus, the highest values in the two studied soil textures were obtained at a depth of 0-10 cm, particularly with the organomineral fertilizer with an organic base from cellulose bran residues, KCl, and MAP. The potassium levels in Mehlich-1, phosphorus levels in Mehlich-1, and phosphorus levels by resin were higher in sandy soil compared to clayey soil.

Keywords: leaching; potassium; phosphorus.

1 INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo se trata de quando o solo tem nutrientes suficientes para as plantas crescerem e produzirem bem. Essa capacidade depende de vários fatores, como temperatura, água, luz e microrganismos, bem como do tipo de manejo. Os solos do Brasil são ácidos, pouco férteis e muitas vezes têm muita saturação por alumínio (Santos *et al.*, 2018). O baixo teor de carbono orgânico reduz a capacidade de troca catiônica desses solos e, conseqüentemente, aumenta a lixiviação dos elementos neles presentes (Netto-Ferreira, 2020).

As aplicações de fertilizantes aumentam a produtividade agrícola e, para serem eficazes, foram tomadas medidas cautelares, pois os insumos, se não forem aplicados de forma correta, podem causar a contaminação das águas subterrâneas (Silva, 2013).

Dessa forma, os fertilizantes organominerais apresentam vantagens em relação ao meio ambiente, pois destinam adequadamente resíduos ambientais, aumentam a disponibilidade de nutrientes para as plantas cultivadas e melhoram a estrutura físico-química do solo (Higashikawa; Menezes Júnior, 2017), prevenindo as perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação, além de apresentarem um custo de produção menor em relação aos fertilizantes minerais (Malaquias; Santos, 2017).

A movimentação de nutrientes no solo depende de diversos fatores, sobretudo da concentração do nutriente em solução, da capacidade de adsorver o elemento pelo solo, das cargas do complexo de troca, do pH, da solubilidade do fertilizante e das proporções dos nutrientes no fertilizante formulado (Pinto *et al.*, 2020).

Dessa forma, a movimentação do nutriente está relacionada ao conteúdo de água e à macroporosidade do solo (Donagemma *et al.*, 2003; Mazucato *et al.*, 2020). De acordo com Matos *et al.* (2021), a movimentação de um nutriente no solo é consequência da ação de diversos fatores, e não apenas de um deles.

A dinâmica de liberação de potássio e outros elementos foi estudada com colunas de lixiviação (Bamberg *et al.*, 2012). Para avaliar, experimentalmente, o deslocamento de elementos pelo perfil do solo, é comum usar colunas de solo com amostras da área-alvo (Lekfeldt; Kjaergaard; Magid, 2017; Marofiet *et al.*, 2015; Stutter, 2015). A utilização de colunas de solo é uma técnica viável e útil, permitindo monitorar o transporte de substâncias no solo (Silva, 2013).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica de movimentação do potássio e do fósforo no perfil do solo, de acordo com a textura do solo e a fonte do nutriente aplicado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

O presente experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus Glória e no Laboratório de Fertilidade do Solo no campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, no período de 03 de fevereiro de 2021 a 03 de abril de 2021.

As amostras de solo foram coletadas em dois tipos diferentes de solo na fazenda experimental do campus Glória. Os solos foram classificados como Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e textura argilosa (Santos *et al.*, 2018).

Os solos foram peneirados em uma malha de 4 mm e misturados com calcário dolomítico, com PRNT de 90%, CaO de 46% e 8% de MgO, na proporção de 14 g por vaso. Os solos foram incubados por 60 dias, a fim de corrigir o pH e aumentar a saturação de base para 55%. A Tabela 16 apresenta as características químicas e físicas do solo utilizado antes da incubação com calcário.

Tabela 16 - Caracterização química e física do solo antes a correção da acidez. Uberlândia/MG, 2022

Características químicas										
pH (H₂O)	pH (CaCl₂)	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	P_{meh.}	K⁺	H+Al	CTC	SB	
1:2,5		----	cmolc dm ⁻³	---	--	mg dm ⁻³	--	----	cmolc dm ⁻³	---
4,9	4,6	0,28	0,16	0,2		24,0	1,49	1,99	0,5	
t	M.O.	C.O.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m	
cmolc dm ⁻³	---	dag kg ⁻¹	---	-----			mg dm ⁻³	-----	%	-----
0,7	0,4	0,2	0,29	0,66	15	1,51	0,32	25	29	
Características físicas										
Solo	Areia total			Silte			Argila			
	----- g kg ⁻¹ -----									
	720			130			150			

pH em H₂O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) P disponível (extrator Mehlich-1); S em fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹; H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA 0,005 mol L⁻¹ + TEA 0,1 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ a pH 7,3) cmolc dm⁻³ x 10 = mmolc dm⁻³ / mg dm⁻³ = ppm / dag kg⁻¹ = %; CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio; M.O. = Método Colorimétrico; Metodologias baseadas em EMBRAPA (2009). Análise Textual pelo método da Pipeta (EMBRAPA, 1997)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 6 x 2, com três repetições. O fatorial foi composto por cinco fontes de fertilizantes, uma testemunha e dois solos com diferentes concentrações de argila, caracterizados como arenoso e argiloso, totalizando 24 colunas de lixiviação (parcelas experimentais).

Na presente pesquisa, nas colunas de PVC, foram utilizadas seis fontes de fertilizantes: 1 - sem adubo; 2 - KCl, MAP e ureia–mineral 18-18-18; 3 - Mineral especial de base nítrica e amoniacal 16-16-16; 4 - KCl, MAP e ureia mineral polimerizado 15-15-15; 5 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada, KCl e MAP 10-10-10; e 6 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada, KCl e MAP 08-08-08 (Tabela 17).

Para determinar as adubações, foi considerada a área da circunferência da coluna de lixiviação ($\pi R = 3,14 \times 0,102 = 0,0313 \text{ m}^2$). Dado o tamanho da área da coluna de lixiviação, foi aplicada uma dose equivalente a 1500 kg ha^{-1} de K_2O e P_2O_5 em cada coluna de solo.

Tabela 17 - Formulações, doses e tratamentos utilizados no experimento de lixiviação em solos arenoso e argiloso. Uberlândia/MG, 2022

Fontes	Formulações	P_2O_5 K_2O	Fertilizantes (kg ha^{-1})	Por coluna g
1	Sem adubo	0	0	0
2	KCl, MAP, ureia – mineral 18-18-18	500	5554	17,5
3	Mineral especial base nítrica e amoniacal 16-16-16	500	6250	19,7
4	KCl, MAP e ureia mineral polimerizado 15-15-15	500	6666	20,9
5	Fertilizante organomineral celulose farelado, KCl e MAP 10-10-10	500	1000	31,4
6	Fertilizante organomineral celulose granulada, KCl e MAP 08-08-08	500	12500	39,25

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Cada parcela experimental foi composta por uma coluna de lixiviação construída a partir de um tubo de PVC de 80 cm de altura e 20 cm de diâmetro, composta por dez anéis de PVC, cada um medindo 10 cm de altura. Uma folha de acetato foi inserida no interior do tubo de PVC. Após o término do experimento, o solo foi removido sem deformação, permitindo o corte em amostras de 10 cm (Figura 11).

Figura 11 - Colunas de PVC do Experimento de Lixiviação dos Nutrientes



Fonte: De autora própria (2022).

Durante o período de trinta dias, para o volume de água por coluna, aplicou-se 1 L, por dia, fazendo uma simulação de chuva de 35 mm diários. Dessa forma, em 30 dias, atingiram-se os 1050 mm de chuva planejados.

Após sessenta dias, foi realizada a última aplicação de água e a remoção do excesso de solução. As colunas de solo foram desmontadas para obter amostras em seis profundidades distintas: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm. Foram coletadas 216 amostras de solo, sendo 108 delas de solos arenosos e 108 de solos argilosos, coletadas em diferentes profundidades. Após esse período, foram determinados os níveis de potássio trocável e fósforo nas onze camadas do solo.

As amostras de solo coletadas foram secas e, posteriormente, peneiradas por uma malha de 2 mm, a fim de determinar os níveis de potássio trocável e não trocável (Knudsen; Deterson; Pratt, 1982). Os métodos de Mehlich-1 e da resina trocadora de íons foram utilizados para avaliar os níveis de potássio e fósforo nas amostras.

A extração do potássio (K) no solo foi realizada em conjunto com o fósforo Mehlich-1. Aproximadamente 10 ml do sobrenadante foram pipetados em um Becker e a leitura foi realizada diretamente no extrato, usando um espectrofotômetro de emissão em chama. A quantidade de potássio percolado foi calculada através da leitura dos teores de potássio em um espectrofotômetro de absorção atômica.

A determinação do fósforo (P) foi realizada pelo método Mehlich-1. No presente processo, 5,0 cm³ de TSFA foram pipetados em frascos plásticos com tampa de 125 ml. Após a adição de um extrator Mehlich-1 (50 ml), foi adicionado um agitador circular horizontal a 200 rpm. Após esse período, pipetou-se 5 ml do sobrenadante e adicionou-se 5 ml de reagente de

trabalho. Após trinta minutos, a leitura foi realizada em um espectrofotômetro de absorção molecular, com um comprimento de onda de 725 nm.

No que diz respeito à determinação do fósforo (P) através do método da resina, foram pipetados 2,5 cm³ de TSFA em copos plásticos com tampa de 125 ml. Em seguida, acrescentou-se 25 ml de água destilada e 2,5 cm³ de resina condicionadora. A mistura foi mantida em um agitador circular horizontal a 220 rpm por cerca de 16 horas. Após a agitação, a água e o solo foram descartados, ficando somente a resina no conjunto separador. A resina foi transportada para os copos, contendo 50 ml de uma solução de NH₄Cl 0,8 N em HCl 0,2 mol/L.

Os copos permaneceram abertos por 30 minutos, sendo fechados e agitados por mais uma hora em um agitador circular horizontal a 220 rpm. Após isso, 4,0 ml do extrato foram transferidos para tubos de ensaio, aos quais foram adicionados 16 ml de uma solução de molibdato de amônio diluído. A leitura foi realizada com um espectrofotômetro de absorção molecular, usando um comprimento de onda de 725 nm.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Ao término do experimento, as quantidades totais de potássio (K) e fósforo (P) lixiviados foram avaliadas estatisticamente por meio de análises de regressão para as variáveis quantitativas e ajustes significativos até 5% de probabilidade pelo teste F. Os níveis de K trocável e P nas diferentes camadas do solo foram avaliados com base no arranjo experimental de parcelas subdivididas. Todas as análises foram realizadas através do programa SISVAR (Ferreira, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 POTÁSSIO (EXTRATOR MEHLICH-1) NO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO (RQO), TEXTURA ARENOSA

O uso do extrator Mehlich-1 para análise do potássio no solo fornece dados relevantes sobre a disponibilidade de potássio para as plantas e a dinâmica de sua movimentação no perfil do solo. Em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) de textura arenosa, foram identificados os maiores níveis de potássio nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 50-60 cm para o fertilizante KCl, MAP e ureia - mineral. Na profundidade de 40-50 cm, o fertilizante organomineral composto por resíduos de celulose farelada, KCl e MAP apresentou um alto teor de potássio (Tabela 18). O valor elevado do potássio extraído pelo Mehlich-1 indica uma alta disponibilidade de potássio para as plantas. Esse potássio, por ser trocável e solúvel, foi encontrado prontamente disponível para absorção pelas raízes das plantas.

Os valores elevados de potássio obtidos pelo extrator Mehlich-1 em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) de textura arenosa, após a aplicação de fertilizantes KCl, MAP e ureia - mineral, são encontrados em diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm e 50-60 cm), o que indica que a aplicação do fertilizante foi eficaz na disponibilização de potássio no solo. A boa distribuição de potássio em diferentes camadas do solo indica uma aplicação adequada e uma movimentação eficiente do potássio através do perfil do solo, apesar das características de alta permeabilidade e baixa CTC do Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo).

Os elevados níveis de potássio na profundidade de 40 a 50 cm em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com textura arenosa foram alcançados após a aplicação de um fertilizante organomineral contendo KCl e MAP. Os dados indicam que o potássio foi distribuído e retido em camadas mais profundas. O potássio do KCl foi efetivamente incorporado ao solo e levado para profundidades mais baixas. Os resíduos de celulose farelada podem ter melhorado a estrutura e a capacidade de retenção do solo, facilitando a captação e distribuição do potássio.

Contudo, os níveis elevados de potássio também podem indicar a necessidade de monitoramento da lixiviação, especialmente em solos arenosos ou em condições de alta precipitação ou irrigação excessiva, onde o potássio pode ser facilmente lixiviado para camadas mais profundas, além do alcance das raízes das plantas.

O K^+ é um nutriente que, devido à energia de retenção dos cátions trocáveis presentes nos coloides do solo, é retido de forma menos eficiente, de acordo com a série liotrófica dos

cátions trocáveis ($\text{Ca}_2^+ > \text{Mg}_2^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$). Isso resulta numa maior lixiviação de K^+ em solos bem drenados, sobretudo em solos com menor CTC, como os solos arenosos (Netto-Ferreira, 2020).

Como previsto, o grupo controle, que não recebeu tratamento algum com fertilizantes, apresentou os menores níveis de potássio em todas as seis profundidades de amostragem, conforme demonstrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Fontes	Mehlich-1 (mg/dm ³)											
	Profundidades (cm)											
	0-10		10-20		20-30		30-40		40-50		50-60	
Sem adubo	13,3	c	15,0	c	13,0	c	11,3	c	11,0	b	11,3	b
KCl, MAP e ureia – mineral	98,3	a	109,0	a	104,3	a	88,7	a	50,5	b	82,0	a
Mineral especial base nítrica e amoniacal	65,3	ab	45,3	bc	45,3	bc	46,3	bc	52,7	b	51,3	a
KCl, MAP e ureia mineral polimerizado	27,0	bc	46,3	bc	57,0	b	47,7	bc	57,0	a	77,3	a
Fertilizante organomineral celulose farelado, KCl e MAP	22,3	c	32,3	c	49,0	bc	62,3	ab	79,0	a	75,0	a
Fertilizante organomineral celulose granulado, KCl e MAP	23,7	c	73,0	ab	58,0	b	61,7	ab	56,0	a	77,3	a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Rosolem *et al.* (2006) demonstram que as perdas por lixiviação estão relacionadas às condições de água, à dose do elemento aplicado, à textura do solo e ao CTC, o que demonstra a relevância da escolha da fonte e do manejo adequado do solo.

Na Figura 12, o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada, KCl e MAP apresentou os menores níveis de potássio pelo extrator Mehlich-1 nas seguintes profundidades: 0-10 e 10–20 cm. Esses baixos níveis de potássio foram obtidos pelo extrator Mehlich-1 em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) de textura arenosa após a aplicação de fertilizantes organominerais contendo celulose farelada, KCl e MAP. A rápida lixiviação de potássio em solos arenosos pode ser atribuída às limitações na eficiência do extrator Mehlich-1 para potássio, bem como à dinâmica natural de movimentação do potássio no perfil do solo.

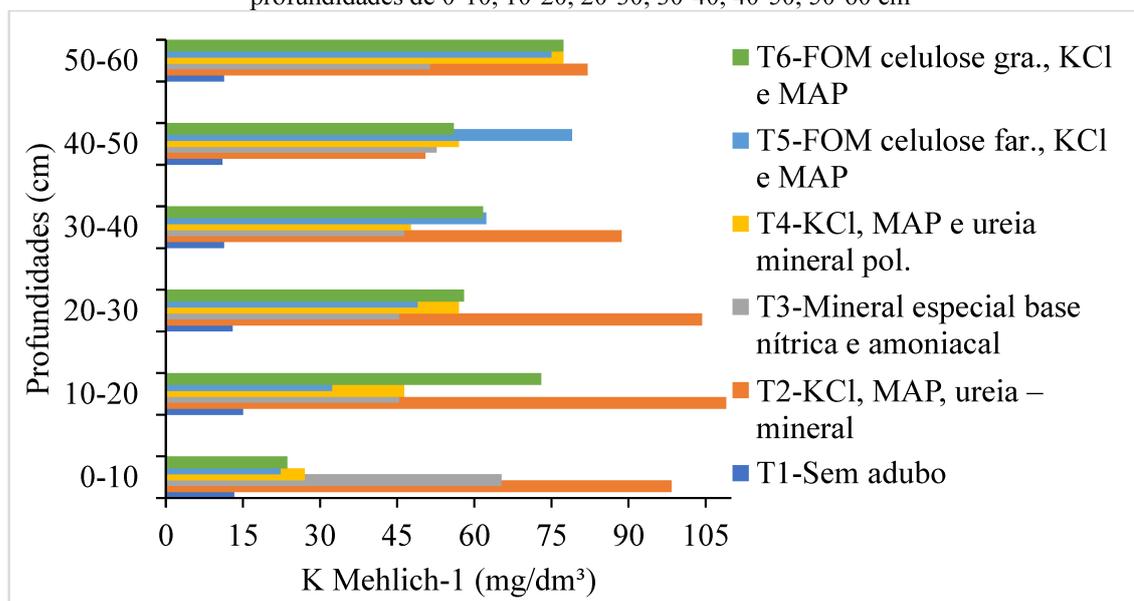
Garcia *et al.* (2015) constataram que o processo de lixiviação de potássio foi menor quando se usou fertilizante organomineral como fonte de potássio, em comparação com o fertilizante mineral, especialmente para aplicações em grandes doses.

O ensaio atual revelou que o fertilizante mineral especial com base nítrica e amoniacal nas profundidades de 20–30, 30–40 e 50–60 cm apresenta baixos níveis de potássio pelo extrator Mehlich-1, como mostra a Figura 13. Os baixos níveis de potássio obtidos pelo extrator Mehlich-1 em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com textura arenosa, após a aplicação de um fertilizante mineral de base nítrica e amoniacal, podem ser atribuídos à alta permeabilidade e à baixa capacidade de reter os nutrientes do solo, o que resulta numa rápida lixiviação de potássio. Além da falta de potássio no fertilizante aplicado, o extrator Mehlich-1 pode ser limitado para medir potássio em solos arenosos.

Na Figura 12, notamos que o fertilizante KCl, MAP e ureia–mineral apresentou a menor concentração de potássio na profundidade de 40 a 50 cm. Os baixos níveis de potássio nas profundidades de 40 a 50 cm podem ser explicados pela rápida lixiviação do potássio em solos arenosos, onde a alta permeabilidade e a baixa retenção de nutrientes facilitam a transferência do potássio para camadas mais profundas. Mesmo com o uso de KCl, o potássio pode ter sido rapidamente deslocado para além da profundidade medida. Além disso, o extrator Mehlich-1 pode não ser o método mais eficaz para medir potássio em solos arenosos, o que contribui para a observação de baixos valores.

A lixiviação de potássio será menor, mesmo em solos arenosos com alta permeabilidade, uma vez que há menos potássio na solução para mover para camadas mais profundas. Os autores Mengel e Kirkby (2001), Rengel e Damon (2008) confirmam que as exportações de produtos agrícolas e a lixiviação de K contribuem para a diminuição do teor de nutriente no solo, resultando em uma possível falta.

Figura 12 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A adubação potássica aumenta a quantidade de potássio no solo. O gradiente de concentração de K em cinco tipos de solo, com diferentes doses de KCl, determina que a movimentação vertical do íon seja rápida (Neves; Ernani; Simonete, 2009). A movimentação vertical da variável potássio no perfil do solo foi rápida.

3.2 POTÁSSIO (EXTRATOR MEHLICH-1) NO LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (LVD), TEXTURA ARGILOSA

Nesta pesquisa, no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), de textura argilosa, observou-se que o tratamento com KCl, MAP e ureia - mineral mostrou os maiores teores da variável potássio (K) em todas as seis profundidades analisadas (Tabela 19). Os altos níveis de potássio encontrados pelo extrator Mehlich-1 em várias profundidades de um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, após a aplicação de KCl, MAP e ureia - mineral, indicam que o fertilizante foi bem aplicado e que o potássio foi distribuído uniformemente ao longo do perfil do solo. Os níveis de potássio no solo tiveram um aumento significativo devido ao KCl. A elevada CTC do solo argiloso contribuiu para manter elevados níveis de potássio em diferentes profundidades. O MAP e a ureia podem ter estimulado o crescimento radicular, permitindo a absorção e distribuição do potássio.

No entanto, foram observadas perdas menores de potássio durante o tratamento sem adição de adubo em todas as seis profundidades, conforme indicado na Tabela 19.

Tabela 19 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Mehlich-1 (mg/dm ³)											
	Profundidades (cm)											
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60						
Sem adubo	4,2	c	4,5	d	5,2	c	5,1	c	5,8	c	6,1	c
KCl, MAP, ureia – mineral	14,0	a	13,0	a	12,5	a	12,9	a	13,1	a	13,0	a
Mineral especial base nítrica e amoniacal	13,5	a	11,8	ab	10,7	b	10,5	b	10,3	b	10,6	b
KCl, MAP e ureia mineral polimerizado	10,9	b	11,1	bc	10,9	ab	9,6	b	11,1	b	10,6	b
Fertilizante organomineral celulose farelado, KCl e MAP	11,4	b	9,6	c	9,8	b	9,2	b	10,4	b	10,3	b
Fertilizante organomineral celulose granulada, KCl e MAP	10,3	b	10,0	bc	10,5	b	10,7	b	10,3	b	10,8	b

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No presente estudo, tanto em solos de textura argilosa quanto em solos de textura arenosa, observou-se que o tratamento com fertilizante mineral apresentou os maiores teores de potássio, devido à maior concentração desse nutriente. No solo de textura argilosa, o tratamento, que consistia na aplicação de KCl, MAP e ureia - mineral, foi o mais eficaz em todas as seis profundidades analisadas. Do mesmo modo, no solo de textura arenosa, esse tratamento se sobressaiu como o mais eficaz em cinco das profundidades consideradas, diferindo dos outros tratamentos por esse aspecto (Figura 13).

No solo de textura argilosa, os tratamentos com KCl, MAP e mineral polimerizado, fertilizante organomineral à base de resíduos de celulose na forma de farelo, KCl e MAP, bem como fertilizante organomineral à base de resíduos de celulose na forma granulada, KCl e MAP, apresentaram comportamentos semelhantes. A semelhança foi constatada nas profundidades de 0-10, 30-40, 40-50 e 50-60 cm. No entanto, no solo de textura arenosa, esses três tipos de tratamento apresentaram semelhanças apenas nas profundidades de 40-50 cm e 50-60 cm.

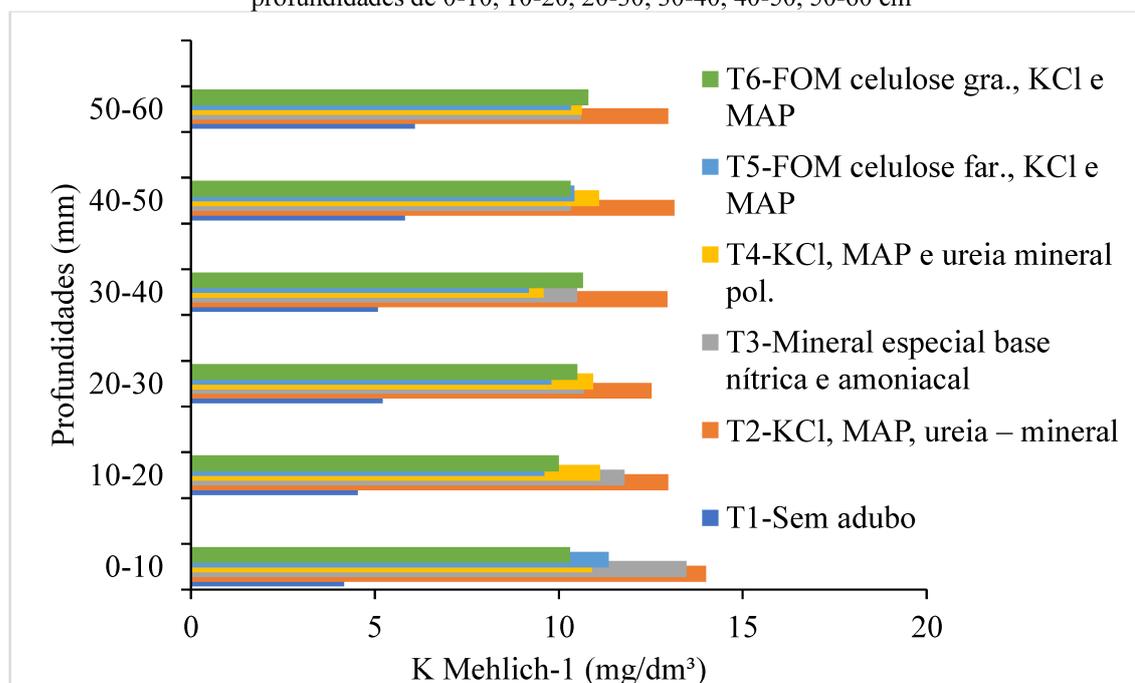
Segundo Ernani *et al.* (2003), a solução que se move verticalmente no solo é uma combinação da solução de solo e da água adicionada. A quantidade de potássio lixiviado foi de acordo com a concentração inicial do nutriente na solução do solo.

A perda dos teores da variável potássio foi mais intensa no solo de textura arenosa em comparação com o solo argiloso. A lixiviação do potássio foi mais intensa em solos de textura arenosa do que em solos de textura argilosa, demonstrando que a textura do solo tem uma influência significativa nas perdas de potássio por lixiviação.

O tipo de solo pode influenciar a velocidade de suprimento das plantas. Rosolem, Marubayashi e Thiago (1996) sustentam que as diferenças entre as formas de K do solo são arbitrárias e deveriam estar relacionadas às diferenças quanto à disponibilidade deste nutriente às plantas.

O fornecimento de K às plantas é realizado por meio da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K fixado e o K estrutural dos minerais (Sparks; Huang, 1985). Contudo, Sparks (1987) menciona que o K do solo foi classificado de acordo com a velocidade em que se encontra disponível às plantas, sendo o K solúvel (prontamente disponível), solúvel (muito rapidamente trocável), K vagarosamente trocável e K estrutural (praticamente inexistente).

Figura 13 - Teores de potássio (Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nesta pesquisa, os fertilizantes organominerais têm um efeito protetor sobre a matéria orgânica. De acordo com Levrero (2010), é possível aproveitar o nitrogênio mineral em até 50%, o fósforo em até 20% e o potássio em até 60% do produto aplicado. Os fertilizantes organominerais aumentam a utilização de nitrogênio, fósforo e potássio em até 70%. O aumento do aproveitamento é consequência da proteção que a matéria orgânica exerce sobre a fração mineral, reduzindo a sua exposição às chuvas e às cargas do solo. Dessa forma, esses nutrientes foram liberados de forma lenta durante o ciclo da cultura, o que permitiu um maior aproveitamento e redução das doses aplicadas.

Werle, Garcia e Rosolem, (2008) observaram, através de um experimento conduzido com um tubo de PVC estratificado, que, em solos argilosos, a lixiviação K^+ foi menos intensa. No início do experimento e em um solo de textura arenosa, ocorreram as perdas de K^+ imediatamente após o período de avaliação. Em um solo com maior teor de argila, as taxas de disponibilidade de K^+ foram maiores, devido ao aumento da CTC, o que proporciona um menor potencial de perda de K^+ por lixiviação.

3.3 FÓSFORO (EXTRATOR MEHLICH-1) NO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO (RQO), TEXTURA ARENOSA

No presente experimento, verificou-se um aumento significativo do teor de fósforo pelo extrator Mehlich-1 na profundidade de 0-10 cm, após a aplicação de um fertilizante organomineral composto por resíduos de celulose granulada à base de ureia, KCl e MAP. Os níveis de KCl, MAP e ureia - mineral foram mais elevados nas profundidades de 10–20 cm e 20–30 cm (Tabela 20).

Os níveis altos de fósforo na profundidade de 0-10 cm de um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com textura arenosa, após a aplicação de um fertilizante organomineral composto por resíduos de celulose granulada, ureia, KCl e MAP são sinais de que a aplicação foi eficaz na elevação dos níveis de fósforo na camada superficial do solo. O MAP contribuiu diretamente para o aumento dos níveis de fósforo, enquanto os resíduos de celulose granulada melhoraram a estrutura do solo.

Os maiores valores de fósforo em profundidades de 10–20 cm e 20–30 cm em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com textura arenosa, após a aplicação de KCl, MAP e ureia - mineral, sugerem que a aplicação de fertilizantes foi eficiente na elevação dos níveis de fósforo nessas camadas mais profundas do solo. Isso pode ser resultado da combinação entre a utilização de MAP (que fornece fósforo diretamente) e a influência do nitrogênio e potássio no desenvolvimento das raízes e na distribuição de nutrientes.

Os valores mais baixos da variável fósforo foram observados no fertilizante que usou KCl, MAP e ureia mineral polimerizada na profundidade de 0-10 cm, e no tratamento que usou fertilizante mineral especial de base nítrica e amoniacal nas profundidades de 10–20 cm, com a exceção da testemunha. Não houve diferença significativa nas profundidades de 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm (Tabela 20).

Tabela 20 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Mehlich-1 (mg/dm ³)											
	Profundidade (cm)											
	0-10		10-20		20-30		30-40		40-50		50-60	
Sem adubo	1,3	e	1,1	c	1,3	a	1,2	a	1,3	a	1,4	a
KCl, MAP, ureia – mineral	94,6	bc	46,8	a	17,5	a	1,1	a	1,4	a	1,3	a
Mineral especial base nítrica e amoniacal	81,0	c	17,3	bc	2,5	a	1,4	a	1,3	a	1,3	a
KCl, MAP e ureia mineral polimerizado	45,9	d	28,4	ab	1,4	a	1,1	a	1,4	a	1,3	a
Fertilizante organomineral celulose farelado KCl e MAP	103,3	b	27,1	ab	1,3	a	1,2	a	1,4	a	1,1	a
Fertilizante organomineral celulose granulado, KCl e MAP	141,4	a	46,1	a	2,3	a	1,5	a	1,4	a	1,2	a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

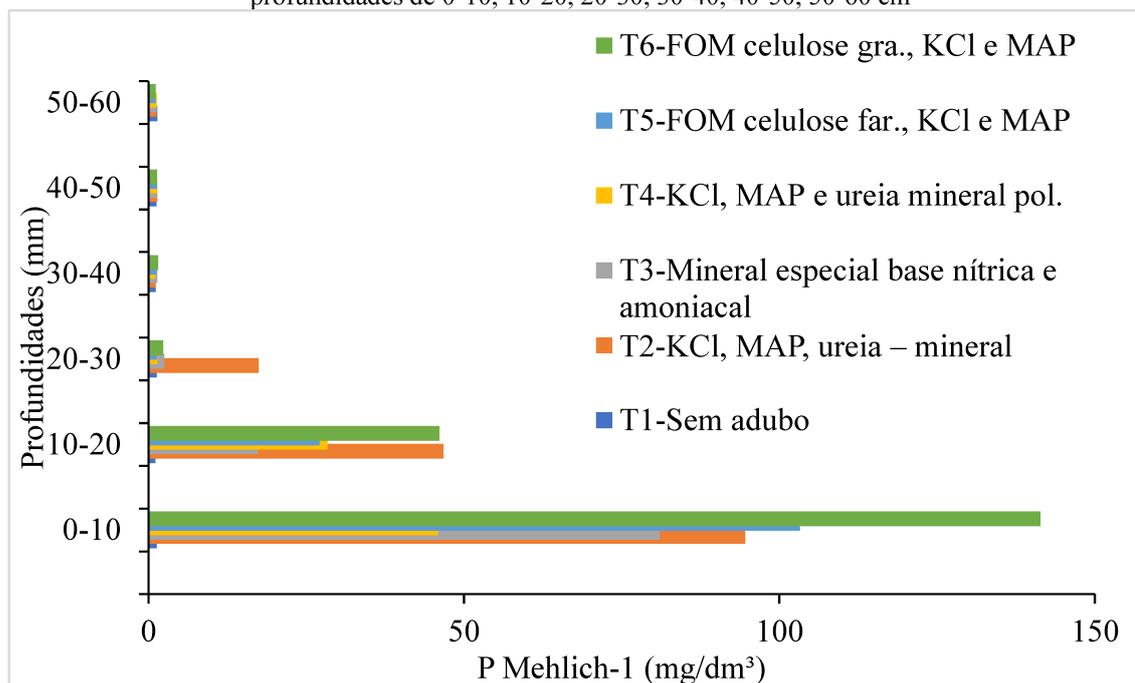
Os fertilizantes organominerais na profundidade de 0-10 cm apresentam uma grande diferença de concentração em relação aos outros tratamentos, no que se refere ao parâmetro fósforo extraído pelo extrator Mehlich-1. Entretanto, logo após, os mesmos procedimentos com fertilizantes organominerais na profundidade de 10–20 cm são significativamente menores do que na profundidade de 0-10 cm (Tabela 20).

De acordo com Vieira (2021), os dados de teor de fósforo no extrator Mehlich-1 mostram que, no tratamento, 66,6% de Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa em MAP, apresentaram uma diferença de 22,44 mg dm⁻³ no teor de fósforo em relação ao controle. A quantidade de fósforo presente em Mehlich-1 foi ocultada.

A hipótese de “mascarar os níveis de fósforo” devido ao extrator Mehlich-1, segundo a literatura, superestima os resultados de P. Além disso, outros autores também relatam esse problema. Como apontado por Kaminski e Peruzzo (1997), a superestimação dos teores de P presentes em solos fertilizados com fosfatos naturais superestima.

O fertilizante organomineral composto por resíduos granulados, KCl e MAP, na profundidade de 0-10 cm, apresentou o maior valor em relação aos outros tratamentos em relação ao fósforo extraído pelo extrator de Mehlich-1. Ademais, o fertilizante com KCl, MAP e ureia – mineral apresentou resultados superiores aos outros métodos, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na Figura 14, foi observado que, na profundidade de 0-10 cm, os níveis de fósforo extraídos pelo processo de extração Mehlich-1 foram superiores em relação ao solo de textura arenosa em comparação com o solo de textura argilosa.

Para a profundidade de 10–20 cm, o fertilizante com KCl, MAP e ureia de natureza mineral apresentou os maiores teores entre todos os tratamentos, tanto no solo de textura argilosa, conforme ilustrado na Figura 14, quanto no solo de textura arenosa (Figura 15).

3.4 FÓSFORO (EXTRATOR MEHLICH-1) NO LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (LVD), TEXTURA ARGILOSA

Na Tabela 21, foi observado o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de textura argilosa. O tratamento com fertilizante mineral especial à base nítrica e amoniacal apresentou os maiores teores da variável fósforo extraído pelo extrator Mehlich-1 na profundidade de 0-10 cm. Não houve diferença significativa nas profundidades de 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm.

Para os níveis máximos de fósforo na profundidade de 0-10 cm em um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, após a aplicação de um fertilizante mineral especial à base nítrica e amoniacal, a aplicação foi eficiente em elevar os níveis de fósforo na camada superficial do solo. A interação do nitrogênio com as propriedades do solo pode ter causado a absorção e a retenção de fósforo na camada superior.

Tabela 21 - Teores de fósforo (P Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	P Mehlich-1 (mg/dm ³)					
	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Sem adubo	0,6 d	0,7 a	1,0 a	0,9 a	1,1 a	0,8 a
KCl, MAP, ureia – mineral	13,7 c	4,1 a	1,3 a	0,9 a	0,8 a	0,9 a
Mineral especial base nítrica e amoniacal	61,7 a	2,1 a	0,9 a	2,1 a	1,0 a	1,1 a
KCl, MAP e ureia mineral polimerizado	16,2 c	4,0 a	1,0 a	0,9 a	1,0 a	1,5 a
Fertilizante organomineral celulose farelada, KCl e MAP	45,1 b	1,8 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,8 a
Fertilizante organomineral celulose granulada, KCl e MAP	2,9 d	1,2 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	2,2 a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

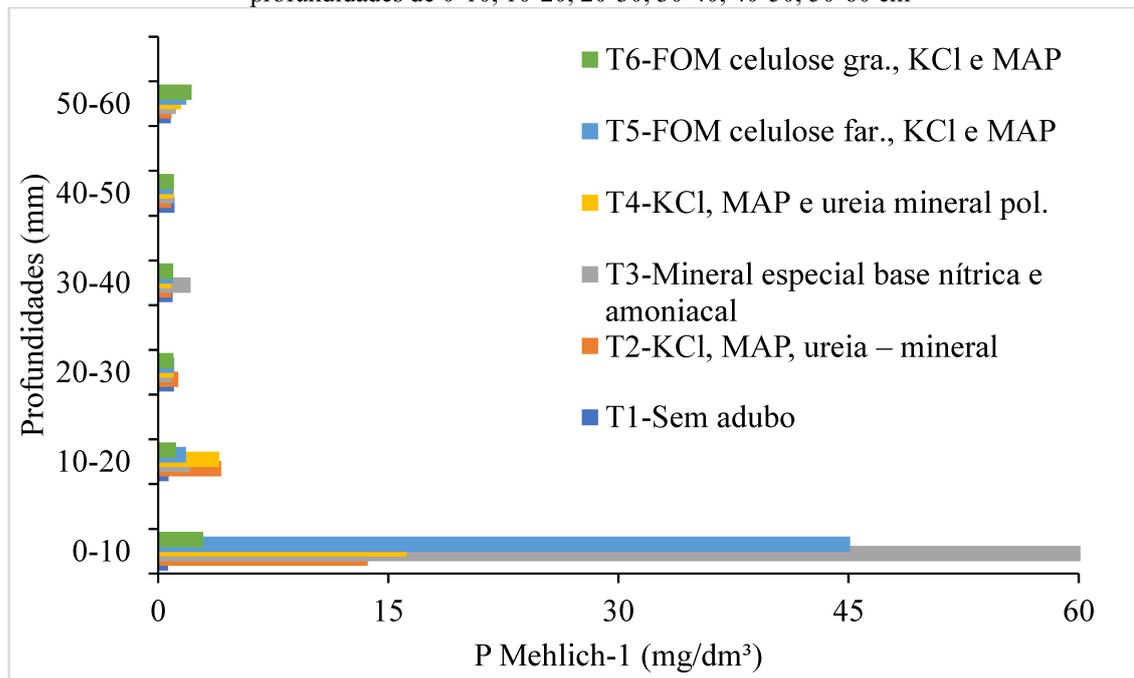
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No entanto, conforme demonstrado na Tabela 21, o tratamento com fertilizante organomineral à base de resíduos de celulose granulada, KCl e MAP na profundidade de 0-10 cm apresentou o menor valor para a variável fósforo em Mehlich-1. Esse resultado pode ser controverso e, provavelmente, incorreto para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa.

Os níveis de fósforo de 0-10 cm em um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, após a aplicação de um fertilizante organomineral (celulose granulada, KCl e MAP), podem ser consequência de uma aplicação inadequada, baixa disponibilidade de fósforo ou problemas na interação entre o fertilizante e as características do solo. O MAP, uma fonte concentrada de fósforo, deveria aumentar os níveis de fósforo de forma normal, mas isso pode não ter ocorrido devido à falta de incorporação, problemas na disponibilidade do fósforo ou interações com o solo. De acordo com Vieira (2021), o uso do extrator ácido Mehlich-1 pode distorcer os resultados, elevando a estimativa dos níveis de fósforo na análise.

No contexto do presente experimento, na Figura 15, foi possível notar que os tratamentos com fertilizante organomineral à base de resíduos de celulose farelado, juntamente com ureia, KCl e MAP, e o tratamento com fertilizante mineral especial à base nítrica e amoniacal, na profundidade de 0-10 cm, apresentam os maiores teores de fósforo entre todos os tratamentos para a variável fósforo no solo de textura argilosa.

Figura 15 - Teores de fósforo (P Mehlich-1) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Oliveira *et al.* (2012) apontam que o rejeito de rocha em feijão funciona porque o P resiste ao solo e é liberado gradualmente ao longo do cultivo. Os tratamentos não deram bons resultados porque os solos são argilosos e precisam de mais P.

3.5 FÓSFORO (EXTRATOR RESINA) NO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO (RQO), TEXTURA ARENOSA

No que diz respeito ao fósforo no extrator de Resina de um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) de textura arenosa, verificou-se que os tratamentos com fertilizantes organominerais apresentaram os maiores níveis na profundidade de 0-10 cm. No entanto, nas profundidades de 10-20 cm, os maiores teores de KCl, MAP e ureia mineral polimerizada foram observados. Na profundidade de 20-30 cm, para a variável fósforo, o fertilizante KCl, MAP e ureia-mineral apresentou um alto teor (Tabela 22).

Os valores de fósforo de 0-10 cm no Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com textura arenosa, após a aplicação de um fertilizante organomineral contendo celulose granulada e farelada, KCl e MAP, demonstram a eficácia da aplicação de MAP em aumentar os níveis de fósforo. A celulose farelada e granulada pode ter contribuído para a melhoria da estrutura do solo e para a retenção de nutrientes, facilitando a manutenção do fósforo na camada superficial.

Os valores elevados de fósforo nas profundidades de 10-20 cm, após a aplicação de um fertilizante contendo KCl, MAP e ureia mineral polimerizada, no Neossolo Quartzarênico

Órtico (RQo), de textura arenosa indicam que o fósforo do MAP, sendo solúvel, deslocou-se das camadas superficiais para as mais profundas com a infiltração de água. A ureia polimerizada pode ter contribuído para um aumento da eficiência geral do uso de nutrientes, mas não afeta diretamente o fósforo.

Os níveis de fósforo foram maiores nas profundidades de 20–30 cm em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) de textura arenosa, após a aplicação de um fertilizante contendo KCl, MAP e ureia - mineral, indicam que o fósforo do MAP se deslocou para as camadas mais profundas do solo. O MAP, por ser altamente solúvel, pode se mover com a água para essas profundidades. A ureia mineral, apesar de não fornecer fósforo diretamente, pode aumentar a eficiência do uso de nutrientes.

O princípio de extração é a remoção contínua da solução pela troca com os íons bicarbonato ou cloreto, criando um gradiente de concentração que força a saída da superfície dos coloides até atingir um equilíbrio eletroquímico entre o solo e a resina (Santos; Gatiboni; Kaminski, 2008). Além disso, a resina é um método de extração semelhante à absorção pela raiz, podendo acessar apenas o P considerado lábil (Raij, 2004).

Os menores valores foram observados no tratamento com fertilizante mineral especial à base nítrica e amoniacal nas profundidades de 0-10 cm e 10–20 cm, e 20–30 cm com fertilizante organomineral à base de resíduos de celulose granulada, KCl e MAP. Em suma, nas profundidades de 30–40 cm, 40–50 cm e 50–60 cm, não houve diferença significativa nos valores das profundidades (Tabela 22).

Os menores níveis de fósforo nas profundidades de 0-10 cm e 10–20 cm, após a aplicação de um fertilizante mineral com base nítrica e amoniacal, indicam que o produto não contém fósforo e, portanto, não contribui para aumentar os níveis de fósforo no solo. Além disso, o Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), de textura arenosa, apresenta uma elevada taxa de drenagem e baixa retenção de nutrientes, o que pode ocasionar uma baixa concentração de fósforo nessas camadas.

Os níveis mínimos de fósforo em um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com textura arenosa foram alcançados após a aplicação de um fertilizante organomineral a base de resíduos de celulose granulada, KCl e MAP. Embora o MAP tenha fornecido fósforo, a alta permeabilidade do solo arenoso poderia ter causado a movimentação ou lixiviação do fósforo para fora dessa camada. A adição de matéria orgânica aos restos de celulose pode ter aprimorado a estrutura do solo e a retenção de água, mas não afeta diretamente o aumento dos níveis de fósforo.

Se o extrator de resina mostra baixos valores de fósforo em uma profundidade, isso pode ser um sinal indireto de que o fósforo foi lixiviado ou movido para fora da zona de medição. No entanto, valores baixos de fósforo não confirmam diretamente a lixiviação, pois podem também indicar uma baixa disponibilidade de fósforo ou uma aplicação inadequada.

Tabela 22 - Teores de fósforo (Resina) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Resina (mg/dm ³)					
	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Sem adubo	16,7 d	12,7 c	30,8 b	40,5 a	18,4 a	21,6 a
KCl, MAP, ureia – mineral	1116,0 b	384,9 b	286,3 a	42,0 a	58,4 a	40,7 a
Mineral especial base nítrica e amoniacal	871,7 c	342,6 b	93,8 ab	46,0 a	34,2 a	27,2 a
KCl, MAP e ureia mineral polimerizada	937,1 bc	860,2 a	94,2 ab	79,7 a	60,4 a	94,7 a
Fertilizante organomineral celulose farelada, KCl e MAP	1393,2 a	524,5 b	100,1 ab	83,6 a	52,2 a	54,9 a
Fertilizante organomineral celulose granulada, KCl e MAP	1351,0 a	447,1 b	86,4 ab	75,7 a	104,0 a	61,4 a

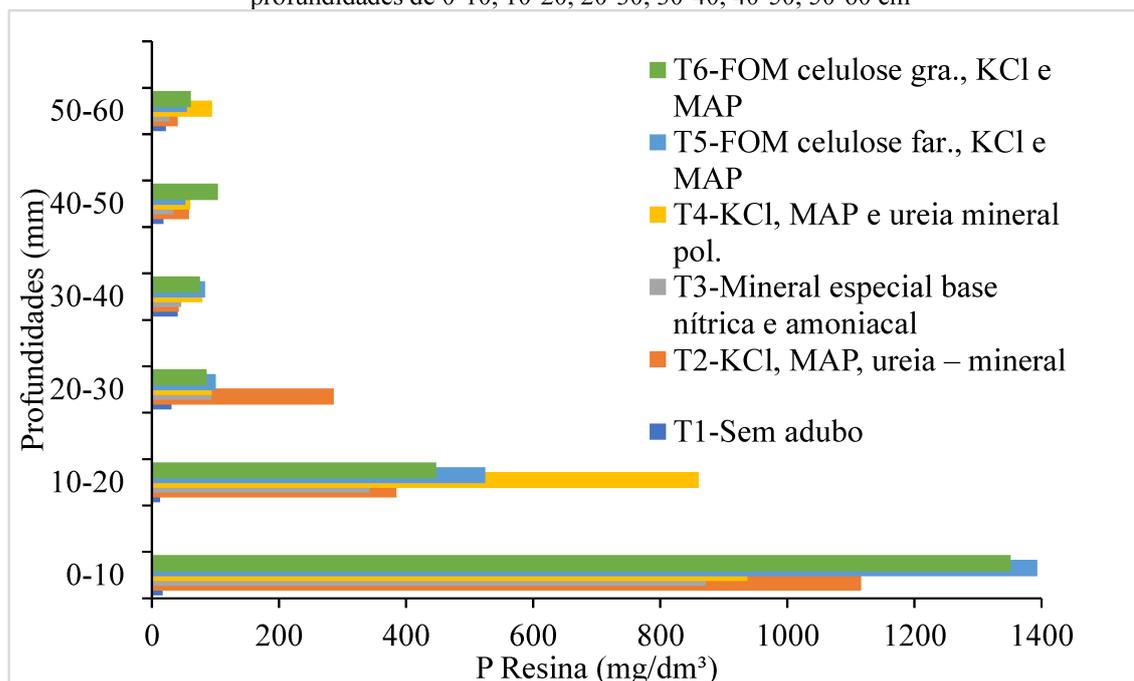
Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nicchio *et al.* (2019) percebem aumentos nos teores de P em solo de textura arenosa no cultivo de milho quando aplicam fosfato de baixa solubilidade (Fosfato vale e fosfato parcialmente calcinado farelado).

Na camada de 0-10 cm, ambos os terrenos avaliados apresentam o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelada, KCl e MAP como os valores mais elevados para a variável fósforo em extrator resina (conforme a Figura 16).

Figura 16 - Teores de fósforo (Resina) em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), textura arenosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Korndörfer, Lara Cabezas e Horowitz, (1999) observam a relação entre a produtividade de grãos e os teores de P no solo extraído por (mehlich-1 e resina), onde o método Resina foi melhor que Mehlich em estimar a quantidade de P disponível no solo.

3.6 FÓSFORO (EXTRATOR RESINA) NO LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (LVD), TEXTURA ARGILOSA

A análise do fósforo pelo extrator de resina foi relevante para compreender a disponibilidade de fósforo para as plantas, especialmente em solos com características específicas, como o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), de textura argilosa. Essa relevância se deve à capacidade do extrator de resina de fornecer uma medida da quantidade de fósforo disponível para as plantas, o que foi um fator crucial para o manejo adequado da fertilização.

Neste estudo, o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de textura argilosa apresentou o maior teor de fósforo extraído pelo extrator de Resina na profundidade de 0-10 cm, no qual foi aplicado um fertilizante organomineral composto por resíduos de celulose farelada KCl e MAP (Tabela 23).

Os níveis de fósforo elevados foram detectados pelo extrator de resina nas profundidades de 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, após a aplicação de um fertilizante organomineral a base de resíduos de celulose farelada, KCl e MAP. Os resultados demonstram a eficiência do MAP em aumentar a disponibilidade de

fósforo na camada superficial do solo. A grande capacidade de retenção e troca de cátions do solo argiloso contribui para manter esses níveis elevados. A adição de matéria orgânica proveniente dos resíduos de celulose farelada pode ter contribuído para a melhoria da retenção de nutrientes, mas o impacto direto nos níveis de fósforo foi, sobretudo, atribuído à aplicação do MAP.

No entanto, o menor valor foi registrado na profundidade de 0-10 cm do fertilizante com KCl, MAP e ureia - mineral (Tabela 23). Os baixos valores de fósforo medidos pelo extrator de resina em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa após a aplicação de fertilizantes KCl, MAP e ureia mineral podem ser atribuídos a fatores como a fixação do fósforo pelo solo, a imobilização microbiana ou a movimentação vertical do fósforo.

Simões Neto *et al.* (2009) constatam que o método de extração mais eficiente para P foi a resina, em comparação com outros métodos de extração (Bray-1, Mehlich-1 e Mehlich-3) ao avaliarem diferentes métodos em solos extremamente intemperizados e cultivados com cana-de-açúcar.

Na Tabela 23, foi observado que, nas profundidades de 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm, não houve diferença significativa entre as profundidades analisadas.

Tabela 23 - Teores de fósforo (Resina) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm. Após período de 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2022

Tratamentos	Resina (mg/dm ³)					
	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Sem adubo	22,5 d	12,9 a	14,1 a	53,9 a	47,8 a	65,6 a
KCl, MAP, ureia – mineral	51,6 d	55,0 a	65,6 a	48,5 a	30,9 a	106,1 a
Mineral especial base nítrica e amoniacal	530,4 b	59,2 a	12,0 a	24,4 a	31,7 a	23,7 a
KCl, MAP e ureia mineral polimerizado	258,1 c	106,2 a	47,6 a	36,9 a	37,7 a	63,5 a
Fertilizante organomineral celulose farelada, KCl e MAP	691,3 a	44,5 a	35,0 a	60,0 a	42,5 a	64,1 a
Fertilizante organomineral celulose granulada, KCl e MAP	88,0 d	58,4 a	28,1 a	31,8 a	29,2 a	39,4 a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

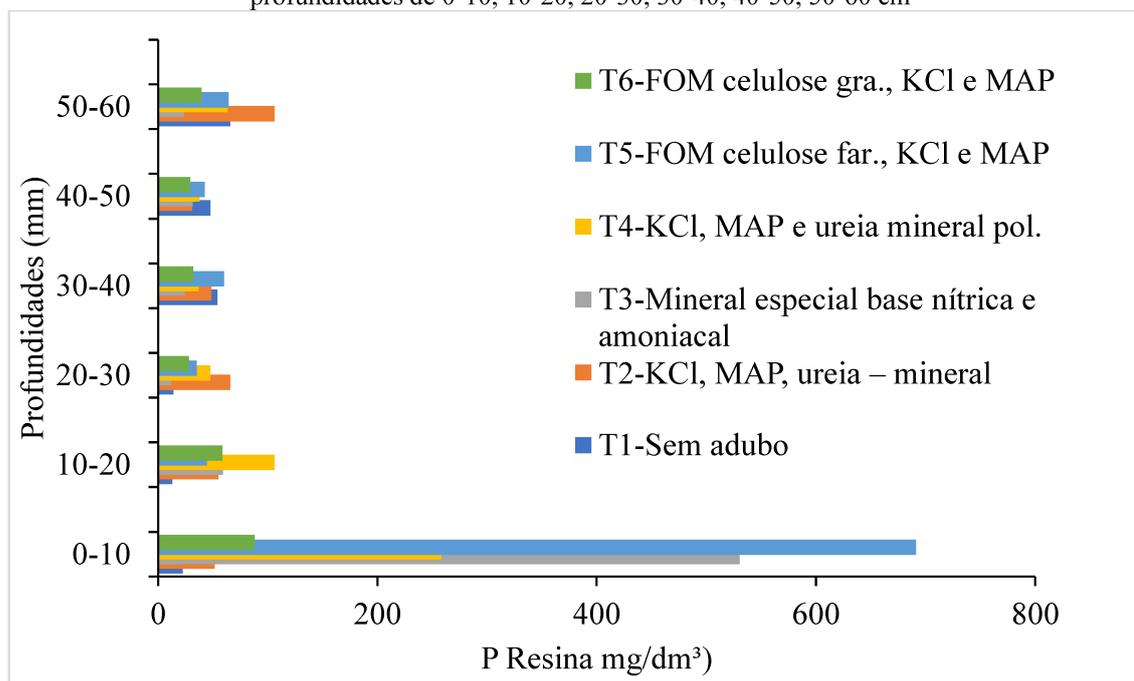
O fertilizante contendo KCl, MAP e mineral polimerizado apresentou os valores mais elevados para a variável fósforo extraída pelo extrator de resina em profundidades de 10–20 cm em ambos os tipos de solo avaliados (Figura 17). Os altos níveis de fósforo medidos pelo extrator de resina nas profundidades de 10–20 cm no Latossolo Vermelho Distrófico de textura

argilosa, após a aplicação de KCl, MAP e fertilizante mineral polimerizado, indicam que a aplicação desses fertilizantes foi bem-sucedida em aumentar a disponibilidade de fósforo nessas profundidades. Isso pode ser consequência da movimentação dos fertilizantes para camadas mais profundas e da menor fixação do fósforo em profundidades intermediárias.

Na Figura 17, na profundidade de 20–30 cm, ambos os solos estudados apresentam o fertilizante KCl, MAP, ureia como o maior valor para a variável fósforo em extrator resina. Essas máximas para o fósforo, medidas pelo extrator de resina nas profundidades de 20–30 cm em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) após a aplicação de KCl, MAP e ureia - mineral, mostram que o fósforo aplicado foi eficiente em se mover e se acumular nessas profundidades. No LVd, a textura argilosa e a menor fixação em profundidades maiores explicam esses altos valores. Enquanto no RQo, a textura arenosa e a movimentação rápida do fósforo também explicam a acumulação em profundidades intermediárias.

Vieira (2021) concluiu que os níveis de fósforo no extrator Resina são mais coerentes entre os dois métodos (Resina e Mehlich-1). A coerência entre os níveis de fósforo obtidos pelo extrator Resina e o Mehlich-1 demonstra como os dois métodos estão alinhados na avaliação do fósforo disponível para as plantas. A resina, devido à captura direta do fósforo disponível, de forma que reproduz a absorção pelas raízes das plantas, apresenta valores que são compatíveis com os obtidos pelo Mehlich-1, que solubiliza o fósforo por meio de uma solução ácida. Dessa forma, aumenta-se a confiança nas medições de fósforo disponíveis para a agricultura.

Figura 17 - Teores de fósforo (Resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Matos *et al.* (2017) chegaram à conclusão de que os níveis de P acumulados no solo arenoso foram cerca de três vezes superiores aos dos solos médios e argilosos nas duas doses testadas. Embora a movimentação do elemento seja maior em solos com menor teor de argila, o que poderia causar maior lixiviação, o P em solos arenosos se acumula quase que completamente na solução do solo. Em solos de textura média e argilosa, o P tende a ser adsorvido pela argila através de pontes entre a argila e o cátion-P. O cátion é, geralmente, composto pelo cálcio e pelo magnésio. O P pode assumir formas não conformáveis pela metodologia de extração utilizada (Mehlich-1), não aparecendo nos resultados (Mazucato *et al.*, 2020; Novais; Smyth; Nunes, 2007).

4 CONCLUSÕES

Na análise da dinâmica de movimentação do potássio (K), em ambas as texturas de solo estudadas, observou-se uma maior lixiviação desse nutriente no tratamento em que a fonte do K aplicada foi KCl, MAP e ureia - mineral, em comparação com os demais tratamentos. Adicionalmente, os teores de K foram mais elevados no solo de textura arenosa quando comparados ao solo de textura argilosa.

No que diz respeito à avaliação da dinâmica de movimentação do fósforo (P) pelo extrator de Mehlich-1, verificou-se que, na profundidade de 10-20 cm, o tratamento com a fonte de nutrientes KCl, MAP e ureia - mineral apresentou os teores mais elevados entre os tratamentos nos solos estudados.

Na avaliação da dinâmica de movimentação de P pelo extrator de resina, os valores mais elevados, em ambas as texturas de solos estudadas, foram observados na profundidade de 0-10 cm, sendo esse resultado associado ao fertilizante organomineral contendo base orgânica em resíduos de celulose farelado.

REFERÊNCIAS

- BAMBERG, A. L. GRECCO, M. F.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; POTES, M. L.; LOUZADA, R. Uso de colunas de lixiviação para a determinação da dinâmica de liberação de nutrientes a partir de rochas moídas. *In: WOKSHOP INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL*, 2012, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. CD-ROM. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/950256/1/2AGBamberg.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- DONAGEMMA G. C.; RUIZ. H. A.; FONTES M. P. F.; KER J. C.; SCHAEFER C. E. G. R. Dispersão de Latossolos em Respostas à utilização de pré-tratamento na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 27, p. 765-772, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/VSZrN5PHrZj833dLxxCx7B/?lang=pt>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- ERNANI, P.R.; MANTOVANI, A.; SCHEIDT, F.R.; NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais**. Ribeirão Preto, CD-ROM, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009>. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000600009. Acesso em: 23 jan. 2023.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. *In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA*, 45, 2000. **Anais...** São Carlos, SP: SIB, p. 255-258, 2000.
- GARCIA, J. C.; BONETI, J. E. B.; AZANIA, C. A. M.; BELUCI, L. R.; VITORINO, R. Fontes de adubação potássica na lixiviação de potássio em Neossolo Quartzarênico. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, ano 12, n. 24, p. 76-89, 2015. Disponível em: http://www.cantareira.br/thesis2/ed_24/materia5.pdf. Acesso em: 23 jan. 2023.
- HIGASHIKAWA, Fábio Satoshi; MENEZES JÚNIOR, Francisco Olmar Gervini. Adubação mineral, orgânica e organomineral: efeitos na nutrição, produtividade, pós-colheita da cebola e na fertilidade do solo. **Revista Scientia Agraria**, [S. l.], v. 18. n. 2, p. 01-10, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i2.51219>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/51219>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- KAMINSKI, João; PERUZZO, Geraldino. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria, RS, Boletim técnico 3, 1997. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/adubacao/livros/EFICACIA%20DE%20FOSFATOS%20NATURAIS%20REATIVOS%20EM%20SISTEMAS%20DE%20CULTIVO.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- KNUDSEN, D.; DETERSON, G.A.; PRATT, P.F. Lithium, sodium and potassium. *In: BLACK, C.A.; GVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E., eds.*

Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, [S. l.], Part 2. p. 225-246, 1982. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13>. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13>. Acesso em: 01 nov. 2022.

KORNDÖRFER, Gaspar Heneique; LARA CABEZAS, Waldo Alejandro; HOROWITZ, Nelson. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais na cultura do milho. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 56, n. 2, p. 32-39, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000200019>. Disponível em em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/sbt4CSHW4mCyL53Jtt88Rfn/?lang=pt>. Acesso em: 01 nov. 2022.

LEKFELDT, J. D. S.; KJAERGAARD, C. K.; MAGID, J. Long-term effects of organic waste fertilizers on soil structure, tracer transport, and leaching of colloids. **Journal of Environmental Quality**, 46, 862-870, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2016.11.0457>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2016.11.0457>. Acesso em: 01 nov. 2022.

LEVRERO, C. R. Caminho sem volta. In: **Encarte Especial ABISOLO**. Piracicaba: ESALQ, 2010.

MALAQUIAS, Carlos Arnaldo Alcântara; SANTOS, Alessandro José Marques. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zea mays* L.). **PUBVET**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 501-512, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.501-512>. Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/artigo/3689/adubaccedilatildeo-organomineral-e-npk-na-cultura-do-milho-zea-mays-l>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MAROFIET, S.; SHAKARAMI, M.; RAHIMI, G.; ERSHADFATH, F. Effect of wastewater and compost on leaching nutrients of soil column under basil cultivation. **Agricultural Water Management**, 158, 266-276, 2015. DOI: <https://doi:10.1016/j.agwat.2015.05.007>. Acesso em: <https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v158y2015icp266-276.html>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MATOS, C. H. L.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; PEREIRA, R. A. Phosphorus adsorption in soils under forest and savanna from Northern Amazon, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias** (online), v. 38, p. 2909-2920, 2017. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n5p2909. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445753229004>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MATOS, C. H. L.; ZUBIATE, K. L. R. R.; PEREIRA, R. A.; AUGUSTI, M. L. Use of soil columns in the evaluation of phosphorine leaching in Roraima. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 11051-11059, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-755>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23957/19222>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MAZUCATO, V. S. H.; SANTOS, V. B.; CAVALHERI, P. S.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-168>. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/14745/12204>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MENGEL, K.; KIRKBY E. A. Effect of split application of potassium on growth, yield and potassium accumulation by soybean. **Fertility Research**, [S. l.], v. 39, p. 217-222, 2001. DOI: <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5195>. Disponível em: <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/A-5195>. Acesso em: 10 dez. 2022.

NETTO-FERREIRA, Julia Barra. **Fertilizantes organominerais à base de biossólidos: estratégia para o aumento da eficiência no uso de nutrientes em planossolos**. 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 25-32, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/HYQwxBKxfKYY8tCqJYMZkWD/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2022.

NICCHIO, B.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; SANTOS, G. A. Avaliação da mistura de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e fontes de enxofre na produção de cana-de-açúcar. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 3, p. 69-91, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/79446674/Avaliacao_Da_Mistura_De_Fosfatos_Acidulados_Fosfatos_Naturais_e_Fontes_De_Enxofre_Na_Producao_De_Cana_De_Acucar. Acesso em: 10 dez. 2022.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: SBCS, 2007.

OLIVEIRA, T. C.; SILVA, J.; SALGADO, F. H. M.; SOUSA, S. A.; FIDELIS, R. R. Eficiência e resposta à aplicação de fósforo em feijão comum em solos de cerrado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 7, n. 1, p.16-24, 2012. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1163>. Acesso em: 10 dez. 2022.

PINTO, L. A. S. R.; BEUTLER, S. J.; ASSUNÇÃO, S. A.; ROSSI, C. Q.; GUARESCHI, R. F.; ZANDONÁ, S. R.; SANTOS, O. A. Q. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-102>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11129>. Acesso em: 10 dez. 2022.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

RAIJ, Bernardo Van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, p. 563-587. 2004.

RENGEL, Z.; DAMON, P. M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiology Plant**, [S. l.], v. 133, p. 624-636, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01079.x>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18397208/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/bH4TSBF6KskrLBkmNKfpqxQ/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2022.

ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M.; THIAGO, W.M. Significância de formas não-trocáveis de potássio na nutrição da soja. **Científica**, [S. l.], 24, p. 263-273, 1996.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/CGKVc6BnjKqMGzf38RmCpDb/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasil: Embrapa Solos, 2018.

SILVA, L. P. Influência do íon acompanhante nos parâmetros de nitrato no solo. **Dissertação de Mestrado** - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 106, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-26062013-110203/publico/Livia_Previatello_da_Silva_errata.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 840-848, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PSyRd354kQyMPvSxftdgyD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. The physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.E., ed. Potassium in agriculture. Madison, **Soil Science Society of America**, [S. l.], p. 201-276, 1985. DOI: <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c9>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/1985.potassium.c9>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SPARKS, D. L. Potassium dynamics in soils. In: STEWART, B. A., ed. *Advances in soil sciences*. New York, **Springer-Verlag**, [S. l.], v. 6. p. 1-61, 1987.

STUTTER, M. I. The composition, leaching, and sorption behavior of some alternative sources of phosphorus for soils. **Ambio**, [S. l.], v. 44, p. 207-216, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-014-0615-7>. Acesso em: 10 dez. 2022.

VIEIRA, Marlon Anderson Marcondes. **Combinação de fontes de fósforo com diferentes solubilidades no Capim-Marandu**. 2021. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bWXMZQPNWW8FQTP7m48C7Bs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2022.