

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, CALAGEM E ADUBAÇÃO EM COLUNAS
DE SOLO IRRIGADAS

CLEIRE LUCIANO DE OLIVEIRA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2020

CLEIRE LUCIANO DE OLIVEIRA

**DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS
E CALAGEM EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADAS**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2020**

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação-- (CIP)

Oliveira, Cleire Luciano de

Dinâmica de nutrientes com a aplicação de substâncias húmicas e calagem em colunas de solo irrigadas / Cleire Luciano de Oliveira. — 2020.
43f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2020.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Ácido húmico. 2. ácido fúlvico. 3. Latossolo. I. Tavares, Rose Luiza Moraes.

CDD:

CLEIRE LUCIANO DE OLIVEIRA

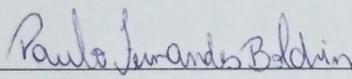
DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS,
CALAGEM E ADUBAÇÃO EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADAS

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

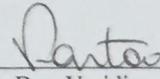
APROVAÇÃO: 28 de abril de 2020

Participação por videoconferência

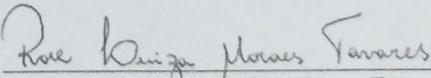
Prof. Dr. Renato Lara de Assis
Membro – IFGoiano - Iporá



Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin
Membro – FA/UniRV



Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves
Cantão
Membro – FA/UniRV



Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, ao meu esposo Cássio Bruno Barroso e em especial a minha filha Ana Luiza Oliveira Barroso, por toda compreensão, amor e por serem a minha força e motivação para concluir este trabalho.

Aos meus pais Claudionor (*in memorian*) e Hilda, meu irmão Claudinei e a minha querida e amanda avó Energina (*in memorian*), que sempre foram a minha motivação para ser sempre melhor.

De maneira especial, dedico este trabalho a todos os meu amigos e familiares, que estiveram juntos comigo nesta caminhada

EPÍGRAFE

*“A única forma de chegar ao impossível é
acreditar que é possível!”
(Lewis Carroll)*

AGRADECIMENTOS

A gratidão para mim é o sentimento mais nobre que podemos ter, e o propósito de fazer esse agradecimento é uma forma de dizer o quanto sou grata a tantas pessoas, que me ajudaram a chegar até aqui.

Quero começar agradecendo a Deus Deus, pela dádiva da vida e a minha família, que me deram subsídios e apoio no decorrer de toda esta experiência, em especial ao meu irmão Claudinei e minha mãe Hilda, que independente de tudo sempre estão ao meu lado, a minha mãe de coração Daniela Vilela Luciano, que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis, com suas palavras doces e nobreza de sentimentos.

À Universidade de Rio Verde (UniRV) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela oportunidade da realização do Curso de Mestrado.

Agradeço sinceramente a minha orientadora Dra. Rose Luiza Moraes Tavares, por ter me auxiliado no decorrer deste trabalho e a minha co-orientadora Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, por todo o conhecimento e auxílio no desenvolvimento desta pesquisa, e pelo esforço exercido na conclusão desta obra, ao Dr. Alessandro Guerra da Silva, por ter me auxiliado e apoiado a não desistir.

Aos meus colegas da pós-graduação, que me auxiliaram com todo o experimento, Arthur Guimarães, Silvio Paiva Filho, Sandrielle Medeiros e Kamila Lobato.

A secretária do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Rízzia Arantes, por todo atendimento com excelência e apoio, no decorrer de todo o curso.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da UniRV, por compartilharem seus conhecimentos, e a todos que diretamente ou

BIOGRAFIA

CLEIRE LUCIANO DE OLIVEIRA, filha de Claudionor Lemos de Oliveira e Hilda Maria Luciano, nasceu no município Mineiros, Estado de Goiás, aos 13 dias, do mês de outubro do ano de 1989. cursou e concluiu a graduação na Universidade Estadual de Goiás UEG, polo de Mineiros Goiás, obtendo assim, o título de Tecnóloga em Agropecuária em 2012, momento em que descobriu o amor pela ciências agrárias ingressou então, no Curso de Agronomia no Centro Universitário de Mineiros Goiás, tornando-se então Engenheira Agrônoma, em 2015. Ainda em 2012 iniciou a carreira profissional na Agronomia, na área comercial, como Consultora técnica de vendas, dedicando-se a assistência e vendas de insumos agrícolas em geral, e em 2017 mudou-se para Rio Verde Goiás, iniciando um novo desafio profissional como Representante Técnica de Vendas de uma das marcas de nutrição de plantas do Grupo Fertiláqua, denominada Aminoagro, na qual teve a oportunidade de conhecer a Universidade de Rio Verde UniRV e no ano seguinte 2018, ingressou como aluna regular, no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade de Rio Verde, defendendo a dissertação, no dia 28 de Abril de 2020.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO GERAL.....	viii
GENERAL ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.GERAL.....	1
CAPÍTULO I: DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E CALAGEM EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADAS	2
RESUMO.....	2
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
4 CONCLUSÕES.....	13
REFERÊNCIAS.....	14
CAPÍTULO II: DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E ADUBAÇÃO MINERAL EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADAS.....	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4 CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS.....	28
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise química de produtos comerciais contendo ácido húmico e fúlvico.....	6
TABELA 2	Características química e física de um Latossolo Vermelho de vegetação nativa do Cerrado em Rio Verde/GO.....	6
TABELA 3	Resumo da análise de variância com Fc calculado para nutrientes retidos no solo na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) de colunas de solo com ou sem correção do solo.....	8
TABELA 4	Valores médio de nutrientes em amostras de solo na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) de colunas de solo com ou sem correção do solo.....	9
TABELA 5	Análise química e física de produtos comerciais contendo ácido húmico e fúlvico.....	20
TABELA 6	Características química e física de um Latossolo Vermelho de vegetação nativa do Cerrado em Rio Verde/GO.....	20
TABELA 7	Resumo da análise de variância com Fc calculado para nutrientes retidos no solo na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) de colunas com utilização de substâncias húmicas em diferentes doses e com ausência ou presença de adubação mineral.....	22
TABELA 8	Valores médio de P, K, Ca e Mg em amostras de solo nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm em condições de solo com e sem adubação NPK.....	23

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Efeito do uso de substância húmicas com (A) e sem (B) adição de calcário na retenção de Ca de solo coletado na camada superior (0-20 cm) de coluna de solo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.....	10
FIGURA 2	Teor de fósforo no solo com adição de substâncias húmicas em solo com calcário (A, C) e sem calcário (B, D) no teor de fósforo do solo na camada 0-20 cm (A, B) e 20-40 cm (C, D) após 30 dias.....	11
FIGURA 3	Efeito da adição de substâncias húmicas em solo com calcário e sem calcário no teor de magnésio (A, B) e na condutividade elétrica (C, D) do solo na camada 20-40 cm após 30 dias.....	13
FIGURA 4	Efeito da adição de substâncias húmicas com e sem adubação mineral no teor de Ca do solo (20-40 cm) após 30 dias. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.....	24
FIGURA 5	Efeito da adição de substâncias húmicas (esquerda) e da dose de aplicação de substâncias húmicas (direita) no teor de Mg do solo na camada 0-20 e 20-40 cm após 30 dias. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.....	25
FIGURA 6	Efeito da adição de substâncias húmicas em solo com e sem adubação mineral no teor de P (A, B) e K (C, D) no solo (0-20 cm) após 30 dias.....	26

RESUMO GERAL

OLIVEIRA, C.L. Dinâmica de nutrientes com a aplicação de substâncias húmicas, calagem e adubação em colunas de solo irrigadas. 2020, 39p Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), UniRV - Universidade de Rio Verde, GO Abril de 2020. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rose Luiza Moraes Tavares.

As substâncias húmicas são constituintes da matéria orgânica e podem melhorar as propriedades do solo. Dentro desta perspectiva destacam-se os ácidos húmicos e fúlvicos, que naturalmente resultam da decomposição da matéria orgânica e são capazes de diminuir a lixiviação de íons no solo. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do uso de substâncias húmicas na retenção de nutrientes no solo após eventos de irrigação. Para isso, foi instalado um experimento em casa de vegetação climatizada utilizando um Latossolo Vermelho, cujos tratamentos constaram do uso de ácido húmico ou fúlvico na presença ou ausência de calcário e adubação mineral. O solo foi inserido em colunas de PVC e foi constantemente irrigado até a capacidade de campo, por um período de 30 dias. Após isto, foram retiradas amostras de solo da parte superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) da coluna para análises de P, K, Ca, Mg, pH e condutividade elétrica. Os resultados foram divididos em capítulos. No capítulo I, foi avaliado a retenção dos nutrientes P, K, Ca e Mg, além de pH e condutividade elétrica em um Latossolo Vermelho, inserido em colunas e adicionado de substâncias húmicas (na ausência e presença de calagem). O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado com modelo estatístico fatorial 2x2x4 com três repetições. Os resultados mostraram, que em condições de solo ácido, o uso de ácido fúlvico é mais expressivo na liberação de fósforo no solo, quando comparado ao ácido húmico. O capítulo II teve como objetivo avaliar o uso alternativo de substâncias húmicas (ácido húmico e fúlvico) combinados ou não com adubação mineral NPK no processo de retenção de nutrientes no solo. O delineamento experimental e modelo estatístico foi o mesmo do capítulo I. Os resultados mostraram que a adubação mineral complementada com uso de ácido húmico, ao invés de fúlvico, promoveu maior efeito residual de Ca e K no solo após eventos de irrigação. Quando utilizado o ácido fúlvico de forma complementar, promoveu maior quantidade de P no solo. Na ausência de adubação mineral, o efeito do uso de substâncias húmicas é baixo na disponibilização de nutrientes no solo.

Palavras-chave: Ácido húmico, ácido fúlvico, Latossolo

ABSTRACT

OLIVEIRA, C.L. Nutrient dynamics with the application of humic substances, liming and fertilization in irrigated soil columns. 2020, 39p Dissertation (Master in Plant Production), UniRV - University of Rio Verde, GO Abril 2020. Advisor: Prof^a. Dr^a. Rose Luiza Tavares Moraes.

Humic substances are constituents of organic matter and can improve soil properties. Within this perspective stand out the humic and fulvic acids, which naturally result from the decomposition of organic matter and are able to decrease the leaching of ions in the soil. In this sense, this study aimed to evaluate the potential of humic substance use in soil nutrient retention after irrigation events. For this, an experiment was installed in an air-conditioned greenhouse using a Red Latosol, whose treatments consisted of the use of humic or fulvic acid in the presence or absence of limestone and mineral fertilization. The soil was inserted into PVC columns and was constantly irrigated to the field capacity for a period of 30 days. After this, soil samples were taken from the upper (0-20 cm) and lower (20-40 cm) of the column for analysis of P, K, Ca, Mg, pH and electrical conductivity. The results were divided into chapters. In chapter I, the retention of nutrients P, K, Ca and Mg was evaluated, in addition to pH and electrical conductivity in a Red Latosol, inserted in columns and added of humic substances (in the absence and presence of liming) the experiment was in a completely randomized design with a 2x2x4 factorial statistical model with three replications. The results showed that under acidic soil conditions, the use of fulvic acid is more expressive in the release of phosphorus in the soil when purchased to humic acid. Chapter II aimed to evaluate the alternative use of humic substances (humic and fulvic acid) combined or not with Mineral NPK fertilization in the process of nutrient retention in the soil. The experimental design and statistical model were the same as in chapter I. The results showed that mineral fertilization complemented with humic acid use, instead of fulvic, promoted a higher residual effect of Ca and K in the soil after irrigation events. And when the folivic acid was used in a complementary way, it promoted a greater amount of P in the soil. In the absence of mineral fertilization, the effect of humic substance use is low on the availability of nutrients in the soil.

Keywords: Humic acid, fulvic acid, Latosol

1 INTRODUÇÃO GERAL

Grandes desafios vem sendo lançados, em relação a agricultura na atualidade, um é equacionar a crescente demanda por quantidade e qualidade dos alimentos, com a exploração racional do meio ambiente. O sucesso para atender a demanda mundial de alimentos tem sido associado à intensa aplicação de insumos que, apesar de todos os efeitos visíveis no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, por vezes, são onerosos e quando não manejados corretamente a longo prazo, geram impactos negativos na ecologia de uma determinada região agrícola.

Perante essa situação, inúmeras alternativas de cultivo podem ser adotadas acarretando em uma agricultura de menor impacto ao meio ambiente e mais eficiente em produtividade. Neste contexto as substâncias húmicas são constituintes da matéria orgânica dos solos e dos sedimentos que podem melhorar as propriedades do solo e o metabolismo vegetal. Existem estudos que demonstram diversos benefícios dessas substâncias para alguns cultivos e, ainda, evidências da sua interação química e física e biológica. As propriedades químicas, microbiológicas e físicas das substâncias húmicas podem garantir um incremento na produtividade em decorrência dos benefícios que promove para a estrutura física e química do solo e para o metabolismo da planta. Dentro dessa perspectiva destacam-se os ácidos húmicos e fúlvicos, que naturalmente resultam da decomposição da matéria orgânica e são capazes de estimular alterações fisiológicas nas plantas, as quais podem contribuir para um melhor desenvolvimento, o que é essencial para que se obtenha ganhos em produtividade.

Os ácidos húmicos e fúlvicos são os compostos mais importantes das frações húmicas, com relação à reatividade e ocorrência nos ecossistemas. Partindo desse princípio, produtos à base de ácidos húmicos e fúlvicos têm sido avaliados otimizando a fertilidade e a física do solo (funcionando como condicionadores físicos), estimulando o enraizamento, disponibilização de nutrientes imobilizados e substrato aos microrganismos do solo.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial do uso de fertilizantes à base de substâncias húmicas (ácido húmico e ácido fúlvico) na retenção de nutrientes no solo após eventos de irrigação.

CAPÍTULO I

DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E CALAGEM EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADAS

RESUMO

Com este trabalho avaliou-se a retenção dos nutrientes P, K, Ca e Mg, além de pH e condutividade elétrica, em um Latossolo Vermelho, inserido em colunas e adicionado de substâncias húmicas (na ausência e presença de calagem). O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação e as colunas de solo foram compostas por colunas de PVC de 40 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As substâncias húmicas utilizadas foram: o ácido húmico e ácido fúlvico aplicados nas doses 0, 60, 120 e 240 L ha⁻¹ em solo, com ou sem calcário. Foram realizadas 10 irrigações, no período de 30 dias, simulando chuvas de 32 mm. Após isto, foram coletadas amostras das colunas na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) visando identificar o efeito residual da adição de substâncias húmicas. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado, com modelo estatístico fatorial de 2x2x4 com 3 repetições totalizando 48 unidades amostrais. Para interpretação dos dados foi feita análise de variância e quando significativa, foi aplicado teste de tukey 5% de probabilidade e para o efeito doses, foi utilizada análise de regressão. Os resultados mostraram que em condições de solo ácido, o uso de ácido fúlvico é mais expressivo na liberação de fósforo no solo, quando comprado ao ácido húmico.

Palavras chave: ácido húmico, ácido fúlvico, Latossolo.

CHAPTER I

NUTRIENT DYNAMICS WITH THE APPLICATION OF HUMIC SUBSTANCES AND LIMING IN IRRIGATED SOIL COLUMNS

ABSTRACT

With this work, the retention of nutrients P, K, Ca and Mg was evaluated, in addition to pH and electrical conductivity in a Red Latosol, inserted in columns and added of humic substances (in the absence and presence of liming). The experiment was conducted in a greenhouse and the columns were composed of PVC columns of 40 cm high and 5 cm in diameter. The humic substances used were humic acid and fuvic acid applied at doses 0, 60, 120 and 240 L ha⁻¹ in soil with or without limestone. Ten irrigation events were performed simulating rainfall of 32 mm. After this, samples of the columns were collected in the upper (0-20 cm) and lower (20-40 cm) layers to identify the residual effect of the addition of humic substances. The experiment was in a completely randomized design, with a factorial statistical model of 2x2x4 with 3 replications totaling 48 sample units. For interpretation of the data, variance analysis was performed and, when significant, a 5% probability tukey test was applied and for the dose effect, regression analysis was used. The results showed that under acidic soil conditions, the use of fulvic acid is more expressive in the release of phosphorus in the soil when purchased to humic acid.

Keywords: humic acid, fulvic acid, Latosol

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica humificada do solo desempenha papel fundamental no funcionamento dos solos tropicais, caracterizados como solos ácidos e inférteis devido ao intenso intemperismo. Exemplo deste material no solo são as substâncias húmicas, composto por uma fração mais reativa em pH ácido e básico (ácido fúlvico) e uma de menor reatividade, o ácido húmico (solúvel em meio alcalino), os quais são capazes de formar complexos com compostos orgânicos ou íons metálicos (BALDOTTO E BALDOTTO, 2014) trazendo benefícios ao solo, como a diminuição da lixiviação de nutrientes. As substâncias húmicas do solo são compostos orgânicos condensados, produzidos pela ação microbiana, e que diferem dos biopolímeros (proteínas, carboidratos, celulose, dentre outras.) por sua complexa estrutura molecular e elevada persistência no solo (ROSE *et al.*, 2014).

Embora, a investigação das estruturas moleculares das substâncias húmicas constitua-se, no atual estágio de pesquisa, uma área bastante difícil, não sendo possível, até agora descrever suas configurações moleculares. A composição elementar e os grupamentos funcionais dessas substâncias têm sido, entretanto, razoavelmente bem caracterizados (BALDOTTO E BALDOTTO, 2014), ou seja, após o fracionamento químico, o ácido húmico possui a composição química de $C_{187}H_{186}O_{89}N_9S$ e o ácido fúlvico de $C_{135}H_{182}O_{95}N_5S_2$ (SCHNITZER & KHAN, 1972).

O ácido fúlvico, que contém mais grupamentos carboxílicos, por unidade de massa, apresenta acidez total maior que o ácido húmico e ambos os ácidos orgânicos apresentam carga protônica, aproximadamente duas a três vezes maiores, por unidade de massa, que a tipicamente verificada para as argilas silicatadas 2:1 e, estas últimas, por sua vez, apresentam densidade de carga cerca de 100 vezes maior que as argilas 1:1, como a caulinita (BALDOTTO E BALDOTTO, 2014). Como os solos do Cerrado são bastante intemperizados, sua fração argila é pobre em cargas e uma CTC adequada depende da existência da matéria orgânica do solo (SOUZA E LOBATO, 2004).

Assim, as substâncias húmicas no solo são importantes para geração de cargas no solo, principalmente, em solos de baixa fertilidade, porém, se o ambiente for extremamente ácido como os solos do Cerrado, a solubilidade das substâncias húmicas pode ser reduzida, o que interfere na formação de complexos metálicos húmicos (MELO *et al.*, 2016). Normalmente, o solo ácido está associado a uma diminuição na disponibilidade de nutrientes (particularmente fósforo, cálcio e magnésio) e um aumento na presença de cátions ácidos (hidrogênio H^+),

alumínio e ferro (Robson e Abbott, 1989). Estudos têm mostrado o potencial de uso das substâncias húmicas no solo mesmo em condições de elevada acidez. Karčauskienė *et al.*, (2019) mostraram que a incorporação de ácidos húmicos no solo ajuda a regular o status químico do solo e neutralizar sua acidez. Yang *et al.*, (2013) identificaram aumento do pH e da disponibilidade de fósforo com adição de doses crescentes de ácido fúlvico.

Diante disso, há a necessidade de avaliar o efeito do uso de substâncias húmicas, em solo com e sem a prática da calagem, principalmente nos Latossolos, que se distribuem por todo o território nacional, como a classe de solos mais representativa do Brasil (EMBRAPA, 2018), ocupando cerca de 39% do território.

O uso de colunas preenchidas com solo para a avaliação de elementos, em condições de não equilíbrio (alta acidez) com a aplicação de quantidades de água semelhantes à pluviosidade natural tem sido bastante empregado, como técnica de análise da lixiviação de nutrientes em solos agrícolas (CONTE *et al.*, 2017). Neste sentido, visando identificar o potencial de uso de substâncias húmicas para incrementar a produção vegetal, este trabalho teve como objetivo avaliar a retenção dos nutrientes K, N, Ca e Mg em um Latossolo Vermelho, inserido em colunas e adicionado de ácido fúlvico ou húmico (na ausência e presença de calagem) após eventos de irrigação, em condição de umidade controlada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade de Rio Verde - UniRV, em Rio Verde - GO, em casa de vegetação climatizada e organizado em delineamento inteiramente casualizado. O clima de Rio Verde é do tipo Aw, típico de clima tropical, segundo classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por estações secas de abril a outubro, com temperatura média de 23°C e precipitação média anual de 1550 mm.

Tratamentos

Os tratamentos consistiram no uso de dois produtos comerciais à base de substâncias húmicas, sendo um com maior quantidade de ácido húmico (AH) e outro com maior quantidade de ácido fúlvico (AF) (tabela 1) aplicados sobre o solo com ou sem correção do pH.

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho de textura média com 34% de argila, coletado em área de vegetação nativa de Cerrado na profundidade de 0-20 cm, cujas

principais características podem ser visualizadas na tabela 2, sendo o mesmo seco ao ar e peneirado a 2 mm para obtenção de TFSA, visando manter a uniformidade de porosidade entre os tratamentos.

Tabela 1 - Análise química de produtos comerciais contendo ácido húmico e fúlvico

Variável	Unidade	Ácido húmico (AH)	Ácido fúlvico (AF)
Carbono - AH	%	25,00	2,30
Carbono - AF	%	5,00	26,00
Densidade	g mL	1,01	1,29
pH	-	3,40	2,90
Carbono orgânico	%	31,00	18,00
Nitrogênio	%	3,20	1,50
Massa seca	%	2,41	1,33
Condutividade elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	7,32	6,45

Parte das amostras de solo tiveram correção do pH com calcário calcítico na quantidade equivalente a 4 t ha⁻¹ (0,94 g coluna⁻¹, sendo que cada coluna teve aproximadamente 0,94 kg de solo). Para cálculo da calagem, foi utilizada a metodologia da saturação por bases, com valor de 60%, ideal para desenvolvimento de culturas, como o milho .

Foram mantidas sob incubação por 30 dias, com 70% da capacidade de retenção de água, seguindo metodologia de Conte *et al.*, (2017).

Tabela 2 - Características química e física de um Latossolo Vermelho de vegetação nativa do Cerrado em Rio Verde/GO

Prof Cm	pH	CTC	SB	K	Ca	Mg	V	N	MO	Areia	Silte	Argila
	-	cmolc dm ⁻³					%					
0-20	4,2	7,1	0,2	0,0	0,1	0,04	3,4	0,003	1,5	40,0	26,0	34,0

MO: matéria orgânica

Foram construídas colunas, material PVC, com dimensão de 40 cm de altura x 5 cm de diâmetro, abertas nas duas extremidades. Na extremidade inferior de cada coluna, foram presos filtros de tecido (material perflex) visando reter o solo. Após isto, foi adicionado às colunas aproximadamente 0,94 kg de solo, cuja quantidade foi baseada na densidade natural do solo coletado de 1,20 g cm⁻³, avaliada através da coleta de amostra indeformada com anéis volumétricos de volume conhecido.

As substâncias húmicas foram adicionadas nos tratamentos nas doses 0, 20, 40 e 80 μL coluna⁻¹, equivalentes a 0, 60, 120 e 240 L ha⁻¹, cujo critério foi a recomendação comercial dos

produtos de 60 L ha⁻¹ e a avaliação de 2 e 4 vezes a dose recomendada. Devido a pequena quantidade de ácido orgânico por coluna, os produtos foram aplicados em solução (5 mL de solução por coluna), mantendo a proporção de cada dose. As principais características das substâncias húmicas estão reunidas na tabela 2.

Ensaio de irrigação

Foram realizadas 10 irrigações em um período de 30 dias, iniciando em 10/11/2018 e finalizando em 11/12/2018, cuja frequência de molhamento das colunas foi a cada 3-4 dias. A quantidade de água inicial representou, em condições de campo, uma chuva de 32 mm, ideal para início de arranque de culturas de grãos.

As quantidades posteriores de água adicionadas nas colunas foram monitoradas (pesadas em balança), cujo objetivo era manter o solo da capacidade de campo. Finalizado os eventos de irrigação, foram coletadas amostras de solo das colunas de irrigação na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm). As mesmas foram secas ao ar e peneiradas em peneira com abertura de malha de 2 mm (TFSA) para análises da quantidade de macro e micronutrientes no solo, conforme Embrapa (2009), visando verificar o efeito residual de nutrientes por adição das substâncias húmicas, após a irrigação.

Análise estatística

As parcelas experimentais foram organizadas em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com modelo estatístico fatorial 2x2x4, sendo a presença ou ausência de correção do solo, 2 tipos de substâncias húmicas aplicadas em 4 doses, com 3 repetições, totalizando 48 unidades amostrais.

Para interpretação de dados, foi feita análise de variância e quando o efeito dos fatores de variações foi significativo, foi aplicado teste de tukey 5% de probabilidade entre as médias. Para efeito das doses, foi utilizada análise de regressão. Foi utilizado o programa SISVAR Versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prática da calagem (fator 1) apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) na dinâmica dos nutrientes P, Ca, Mg, bem como no pH e na condutividade elétrica nas camadas de solo 0-20 e

para Ca, Mg, pH e condutividade elétrica na camada de 20-40 cm após as irrigações (Tabela 3).

Quando avaliado o efeito do uso de substâncias húmicas (fator 2), na ausência e presença de calagem (fator 1), os resultados foram significativos ($p < 0,05$) para Ca na camada 0-20 cm. Para a interação dos fatores calagem, substâncias húmicas e dose de substâncias húmicas (fator 3) foi significativo para P na camada de 0-20 cm, e P, Mg e condutividade elétrica na camada de solo de 20-40 cm (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância com Fc calculado para nutrientes retidos no solo na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) de colunas de solo com ou sem correção do solo.

Fator de variação	GL	P	K	Ca	Mg	pH	Cond
Camada superior (0-20 cm)							
Calagem	1	32,97*	1,33 ^{nsss}	927,87**	329,96**	55,05**	85,96**
Substâncias húmicas-SHs	1	0,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,02 ^{ns}
Dose SHs	3	2,52 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Calagem x SHs	1	3,28 ^{ns}	0,42 ^{ns}	6,61*	7,36 ^{ns}	2,27 ^{ns}	5,48 ^{ns}
Calagem x Dose SHs	3	4,53*	1,11 ^{ns}	1,25 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,10 ^{ns}
SHs x Dose SHs	3	2,96*	0,30 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Calagem x SHs x Dose SHs	3	3,36*	0,37 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Erro	32	-	-	-	-	-	-
CV	-	43,75	28,03	16,65	24,12	24,53	36,77
Camada superior (20-40 cm)							
Calagem	1	0,04 ^{ns}	2,12 ^{ns}	1088,43*	165,43**	73,62**	13,49**
Substâncias húmicas-SHs	1	10,09*	1,50 ^{ns}	0,10 ^{ns}	2,96 ^{ns}	0,28 ^{ns}	2,50 ^{ns}
Dose SHs	3	6,58*	0,38 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,53 ^{ns}
Calagem x SHs	1	13,93*	0,45 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,81 ^{ns}
Calagem x Dose SHs	3	11,48*	0,73 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2,58 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,40 ^{ns}
SHs x Dose SHs	3	5,70*	0,02 ^{ns}	2,24 ^{ns}	3,02*	2,03 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Calagem x SHs x Dose SHs	3	7,13**	0,25 ^{ns}	2,12 ^{ns}	5,06*	0,87 ^{ns}	3,76*
Erro	32	-	-	-	-	-	-
CV	-	51,48	37,62	15,49	23,88	18,33	56,56

Calagem: presença ou ausência de calcário; SHs: uso de ácido húmico ou fúlvico; Dose SHs: dose de substâncias húmicas. ^{ns}: não significativo; *,**: significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente. Cond: condutividade elétrica.

No geral, a prática da calagem ocasionou aumento, na retenção de nutrientes no solo, de forma significativa ($p < 0,05$) quando comparado com o solo sem calcário (Tabela 4). Isso porque o aumento de cargas no solo devido à dissociação do calcário, gera ânions (bicarbonato e hidroxilas). Apesar destes permanecerem pouco tempo no solo, pois reagem rapidamente com os ácidos e desaparecem na solução (ERNANI, 2008; SOUZA E LOBATO, 2004), são capazes de reter cátions, evitando a lixiviação de nutrientes.

Dessa forma, no solo com presença de calcário, os teores de P, Ca e Mg foram maiores ($p < 0,05$) na camada de 0-20 cm com valores respectivamente de 0,48, 5,24 e 0,99 mg kg⁻¹ comparado ao solo sem calcário com 0,22, 0,81 e 0,22 mg kg⁻¹ (Tabela 2). E mesma tendência foi observada para a camada de 20-40 cm (Tabela 4).

A geração de novas cargas no solo promove um rearranjo no equilíbrio dos cátions entre a fase sólida e solução, favorecendo o deslocamento dos cátions preexistentes no solo, para o lado da fase sólida, aumentando a adsorção nos colóides, conseqüentemente maior retenção de cátions (ZANDONÁ *et al.*, 2015).

Tabela 4 - Valores médio de nutrientes em amostras de solo na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) de colunas de solo com ou sem correção do solo

Calcário	P	K	Ca	Mg	pH	Cond
	----- mg kg ⁻¹ -----		---- cmol _c dm ⁻³ ---		-	µm cm ⁻¹
Camada superior (0-20 cm)						
Ausência	0,22 b	37,04 a	0,81 b	0,22 b	4,54 b	42,47 b
Presença	0,48 a	40,66 a	5,24 a	0,99 a	7,77 a	124,76 a
Camada inferior (20-40 cm)						
Ausência	0,40 a	48,45 a	0,87 b	0,30 b	4,55 b	71,95 b
Presença	0,41 a	41,35 a	5,76 a	0,79 a	7,23 a	133,59 a

Média seguidas de mesma letra (comparam o efeito da correção para cada tipo de amostra) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na interação entre os fatores calagem e substâncias húmicas, foi possível constatar que em condições de solo alcalino (com adição de calcário), não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as fontes ácido húmico e fúlvico com valores de 5,38 e 5,10 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 1A), cuja maior fonte de Ca neste solo foi a calagem. Porém, no solo sem calcário, o ácido fúlvico disponibilizou de forma significativa ($p < 0,05$) mais Ca no solo de 1,04 mg kg⁻¹, quando comparado com ácido húmico de 0,57 mg kg⁻¹ (Figura 1B).

A solubilidade das substâncias húmicas pode explicar este efeito, visto que em condições de pH básico, ambos os ácidos orgânicos são solúveis, porém, em condições ácidas, o ácido húmico é insolúvel, o que dificulta a sua mineralização e conseqüente disponibilidade de nutrientes provindos de sua matriz orgânica (BALDOTTO E BALDOTTO, 2014; MELO *et al.*, 2016).

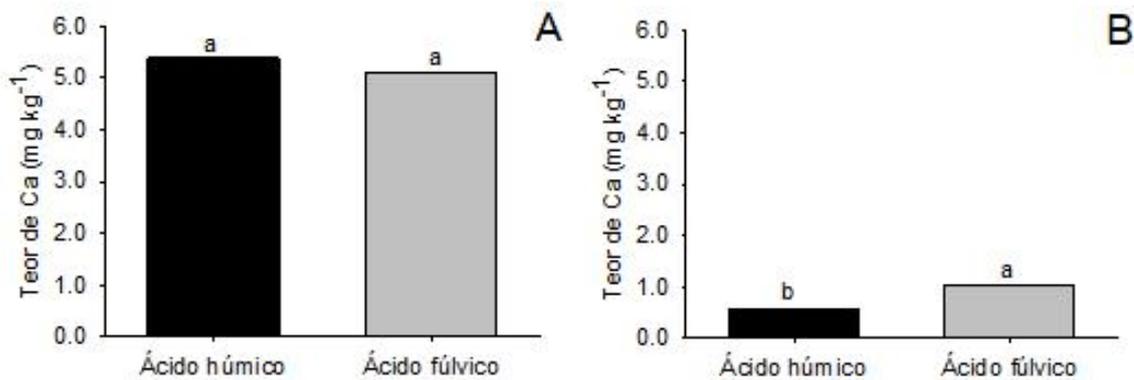
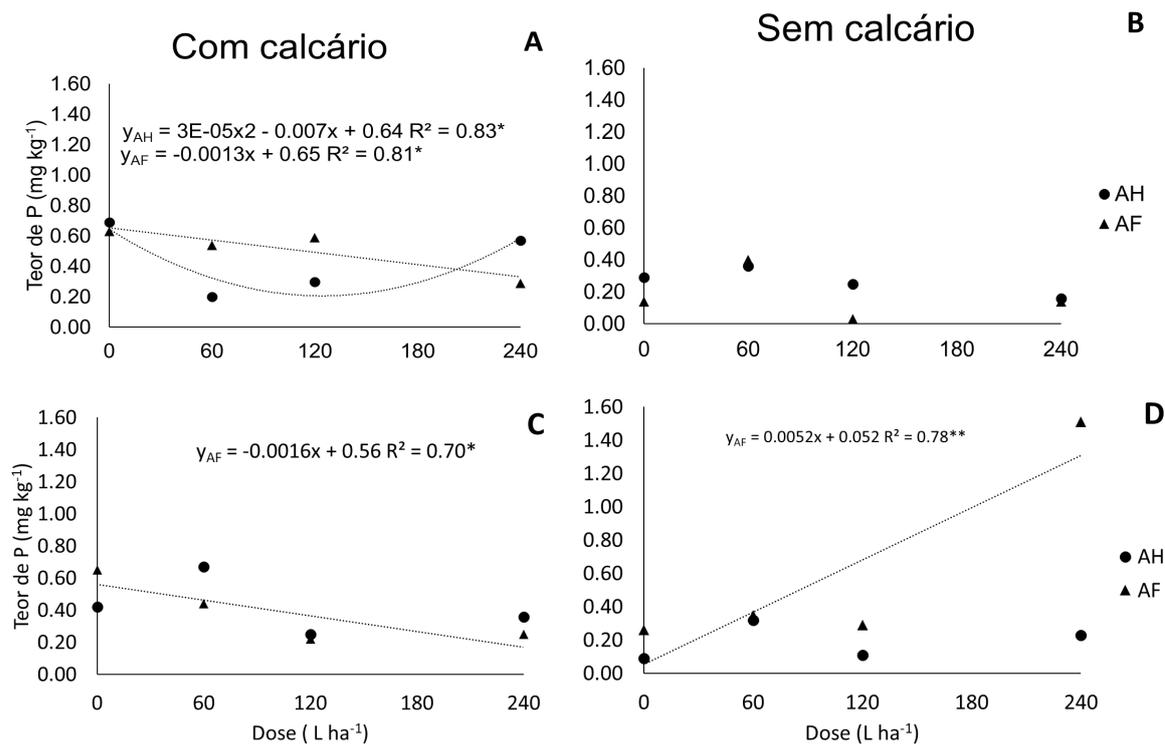


Figura 1 - Efeito do uso de substância húmicas com (A) e sem (B) adição de calcário na retenção de Ca de solo coletado na camada superior (0-20 cm) de coluna de solo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Outra hipótese está ligada à geração de cargas, pelo ácido fúlvico, o que segundo alguns autores (YANG *et al.*, 2013; CAMPITELLI *et al.*, 2003), uma das propriedades mais importantes do ácido fúlvico é a produção de carga negativa que surge essencialmente da dissociação de grupos funcionais. Além disso, o ácido fúlvico, comparado ao ácido húmico, possui maior número de grupos funcionais (fenólicos e carboxílicos) reativos, devido ao menor peso molecular e isso permite maior eficiência na interação com íons, favorecendo a permanência destes íons no solo.

Pela análise da interação entre os fatores correção, substâncias húmicas e dose, foi possível identificar maior disponibilidade de fósforo, no solo pela fonte ácido húmico, em condição mais alcalina (com correção de pH), cuja tendência é de aumento no teor de P após a dosagem de 120 L ha⁻¹ na camada 0-20 cm (Figura 2A), mesmo com pequenas quantidade de P na matriz orgânica do ácido húmico (10 mg kg⁻¹).



** e * Significativo a 1 e 5%.

Figura 2 - Teor de fósforo no solo com adição de substâncias húmicas em solo com calcário (A, C) e sem calcário (B, D) no teor de fósforo do solo na camada 0-20 cm (A, B) e 20-40 cm (C, D) após 30 dias.

Enquanto que a liberação de P pelo ácido fúlvico apresentou efeito oposto, com tendência linear diretamente proporcional (Figura 2D) em condições de solo ácido e indiretamente (Figura 2 A, C) no solo alcalino, estando ligado à solubilidade do ácido fúlvico em condições ácidas, promovendo maior liberação de nutrientes, ao mesmo tempo retenção no solo, após as irrigações. De forma semelhante, Yang *et al.* (2013) detectaram maior quantidade de P disponível com uso de ácido fúlvico em solo ácido quando utilizada dose de até 0,3 g em colunas de 9 cm de altura x 7 cm de diâmetro. De acordo com os autores, à medida em que aumentaram as doses de aplicação de ácido fúlvico, aumentou consideravelmente a população microbiana, conteúdo de matéria orgânica e a CTC, otimizando as condições de disponibilidade de fósforo e concluíram que o uso de ácido fúlvico em conjunto com uma fonte mineral é a melhor opção para melhorar a disponibilidade de P e as condições físico-químicas do solo.

Levantamento de dados mundiais sobre substâncias húmicas foram reunidos em estudos de revisão de Guo *et al.*, (2019) e Rose *et al.*, (2014) destacaram o potencial das substâncias húmicas em diminuir a lixiviação de nutrientes no solo, por promoverem a

formação de quelatos ou complexos íons metálicos com Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} , influenciando a solubilidade destes elementos.

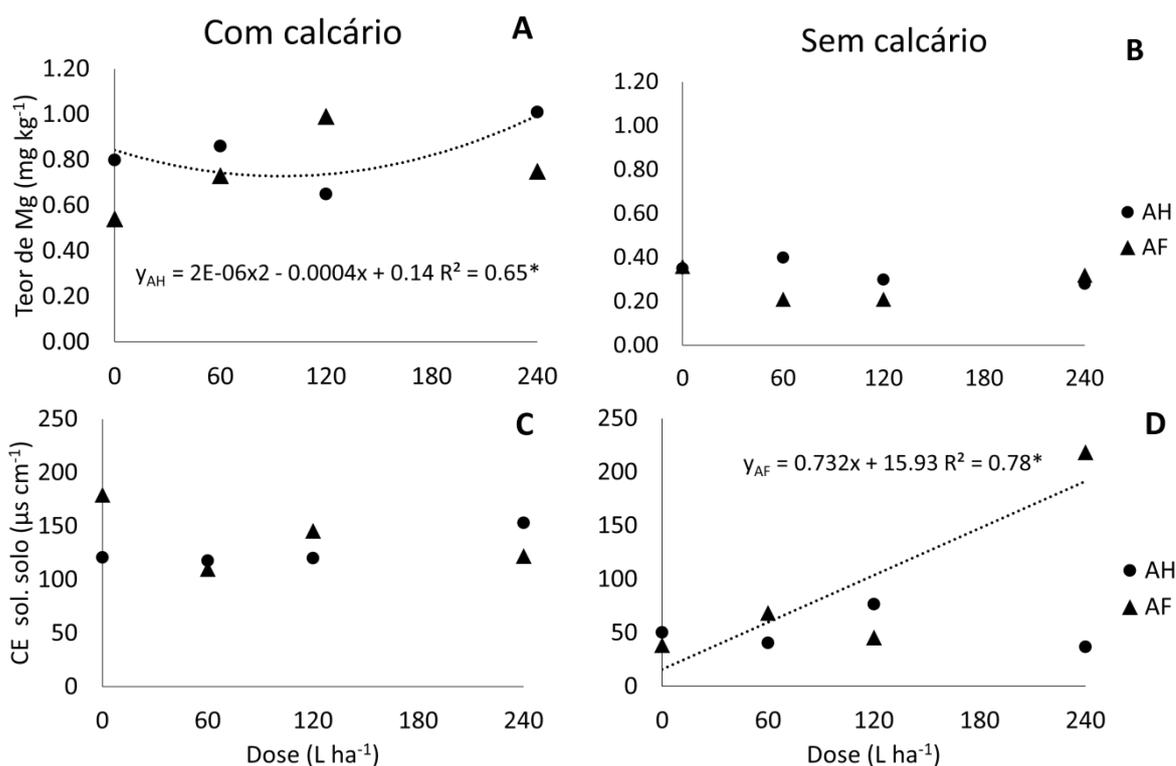
De acordo com Piccolo *et al.*, (1996) isto deve-se à presença de grupos funcionais nas substâncias húmicas que reagem rapidamente com cátions polivalentes na superfície das partículas de argila formando complexos argilo-metal-húmus, o que evitaria a lixiviação e promoveria a retenção de nutrientes no solo. Além disso, deve-se destacar que o fósforo é um elemento bastante retido no solo, principalmente em solos mais velhos, como os Latossolos, devido à sua mineralogia oxidica e caulínica (EGHBALL *et al.*, 1990), dificultando sua lixiviação e liberação na solução do solo.

Por isso, em solo ácido, a disponibilidade de fósforo é otimizada, cuja condição solubiliza o elemento deixando-o mais disponível no complexo de trocas, o que justifica o fato da maior disponibilidade de P em condições ácidas do que em básicas na camada de solo 20-40 cm (Figura 2 C, D).

O ácido fúlvico apresentou maior quantidade de fósforo que o ácido húmico na matriz orgânica, o que justifica os resultados de P mais expressivos com adição de ácido fúlvico. Porém, do total de P no solo, o ácido fúlvico adicionou $1,38 \text{ mg kg}^{-1}$, levando-se em consideração a maior taxa de aplicação de 240 L ha^{-1} . Vale ressaltar que a única fonte de adubação neste trabalho foi a orgânica, o que justifica os baixos valores de fósforo no solo.

Para o teor de Mg retido no solo na camada 0-20 cm após os eventos de irrigação, a adição de ácido húmico tende a promover aumento de teor a partir de 120 L ha^{-1} (Figura 3A). De forma semelhante, Silva e Lana (2012) identificaram aumento no teor de Mg em função do aumento de doses de ácido húmico, representando aumento de 44% a mais de Mg no solo quando comparado com o solo sem uso de ácido húmico. Este é um importante resultado, visto que os solos de Cerrado geralmente apresentam deficiência de magnésio (SOUZA E LOBATO 2004).

Para a avaliação de condutividade do solo na camada 20-40 cm, foi possível identificar que em condições de solo ácido, a adição de ácido fúlvico em doses crescentes tende a aumentar linearmente a condutividade elétrica do solo (Figura 3 D). De forma semelhante, outros autores identificaram aumento linear da condutividade elétrica, em solo, com aplicação de doses crescentes de bio sólido (CONTE *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2002). Apesar disto, os valores de condutividade elétrica registrados neste trabalho não configuraram restrição como toxidez no solo por algum íon ou desequilíbrio nutricional, pois de acordo com Richards (1954) é considerada condutividade elétrica crítica, valores maiores que $2.000 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$.



* Significativo a 5%.

Figura 3 - Efeito da adição de substâncias húmicas em solo com calcário e sem calcário no teor de magnésio (A, B) e na condutividade elétrica (C, D) do solo na camada 20-40 cm após 30 dias.

Enquanto que em solo alcalino (com calcário), a adição de substâncias húmicas não apresentou efeito significativo na condutividade elétrica (Figura 3C), possivelmente devido a condição de equilíbrio do pH, promovendo maior interação ou complexação entre cargas geradas, tanto pela calagem, quanto pela adição de substâncias húmicas (GUO *et al.*, 2019).

4 CONCLUSÃO

- Em condições de solo ácido, o uso de ácido fúlvico foi expresivo na liberação de Ca no solo na camada 0-20 cm e de fósforo na camada de 20-40 cm quando comparado ao ácido húmico.
- Em condições de solo corrigido, o uso de ácido húmico disponibilizou Mg no solo na camada 20-40 cm a partir da dose de 120 L ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, v. 61, Suplemento, p.856-881, 2014.
- CAMPITELLI, P. A.; VELASCO, M. I.; CEPPI, S. B. Charge development and acid-base characteristics of soil and compost humic acids. *Journal Chilean Chemical Society*, v. 48, p. 91-96, 2003.
- CONTE, A. M.; MARQUES, R. D.; REIS, A. S.; VIECELLI, H. A. Colunas de lixiviação com solos de texturas arenosa e argilosa e aplicação de biossólidos. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 16, p. 302-307, 2017.
- EGHBALL, B.; SANDER, D.H.; SKOPP, J. Diffusion, adsorption and predicated longevity of banded phosphorus fertilizer in three soils. *Soil Science of American Journal*, v. 54, p. 1161-1165, 1990.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análise químicas de solos, plantas e fertilizantes – 2 Ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5 ed., rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p
- ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Ed CAV/UEDESC. Lages/SC, 2008, 230 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, n.4, p.529-535, 2019.
- GUO, X X.; LIU, H. T.; WU, S. B. Humic substances developed during organic waste composting: form Zandoná ation mechanisms, structural properties adn agronomic functions. *Science of the Total Environment*, v. 662, p. 501-510, 2019.
- KARČAUSKIENĖ, D.; REPŠIENĖ, R.; AMBRAZAITIENĖ, D.; MOCKEVIČIENĖ, I.; ŠIAUDINIS, G.; SKUODIENĖ, R. A complex assessment of mineral fertilizers with humic substances in an agroecosystem of acid soil. *Zemdirbyste-Agriculture*, v. 106, p. 307–314, 2019.
- MELO, B. A. G.; MOTTA, F. L.; SANTANA, M. H. A. Humic acids: structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Material Sciende and Engineering C*, v. 62, p. 967-974, 2016.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 505-519, 2002.

PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J. S. C. Effect of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. *Soil and Use Managment*, v. 12, p. 209-213, 1996.

RICHARDS, L. A. *Diagnosis improvements of saline and alcaline soils*. Washington, Departament of Agriculture, 1954. 160p

ROBSON, A. D.; ABBOTT, L. K.; The effect of soil acidity on microbiol activity in soils. In: ROBSON, A.D. (Ed). *Soil Acidity and plant growth*. Academic Press, Sydney, pp: 167-203.

ROSE, M. T.; PATTI, A. F.; LITTLE, K. R.; BROWN, A. L.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture, v. 124, p. 37-89, 2014.

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. *Humic substances in the environment* New York, Marcel Dekker. 1972, 327p.

SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Incubação do verdete com diferentes fontes de ácidos para disponibilização de potássio, cálcio, magnésio do solo. *Holos*, v. 5, p. 73-83, 2015.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: Correção do Solo e Adubação 2º Edição*. Edi. Embrapa: Informação Tecnológica, Brasília, 2004, 416 p.

YANG S.; ZHANG Z.; CONG L.; WANG X.; SHI S. Effect of fulvic acid on the phosphorus availability in acid soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 13, n3, 2013.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, p. 128-137, 2015.

CAPÍTULO II

DINÂMICA DE NUTRIENTES COM A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E ADUBAÇÃO MINERAL EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADAS.

RESUMO

Os solos do Cerrado brasileiro são naturalmente inférteis, o que requer manejo da adubação para viabilizar a produção agrícola. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso alternativo de substâncias húmicas (ácido húmico e fúlvico) combinados ou não com adubação mineral NPK no processo de retenção de nutrientes no solo. Para isto, foi conduzido um experimento em casa de vegetação com colunas de PVC de 40cm de altura e 5cm de diâmetro, onde foram preenchidas com um Latossolo Vermelho, sendo metade dos tratamentos adubados com NPK. As substâncias húmicas foram adicionados nas doses equivalentes a 0, 60, 120 e 240 L ha⁻¹. Após isto, foram feitas 10 irrigações, com simulação de chuva de 32 mm. Após 30 dias, foram coletadas amostras de solo, na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) das colunas. As amostras de solo foram avaliadas quanto ao teor de P, K, Ca, Mg, pH e condutividade. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado, com modelo estatístico fatorial de 2x2x4 com 3 repetições totalizando em 48 unidades amostrais. Para interpretação dos dados foram feitas análise de variância e quando o efeito dos fatores de variações foi significativo, foi aplicado teste de tukey 5% de probabilidade, para o efeito doses, foi utilizado análise de regressão. Os resultados mostraram que a adubação mineral complementada com uso de ácido húmico, promoveu maior efeito residual de Ca e K no solo após 30 dias. O ácido fúlvico quando utilizado de forma complementar a adubação mineral, promoveu maior quantidade de P no solo. Na ausência de adubação mineral, o efeito do uso de substâncias húmicas é baixo da disponibilização de nutrientes no solo.

Palavras-chave: Ácido húmico, ácido fúlvico, NPK

CHAPTER II

NUTRIENT DYNAMICS WITH THE APPLICATION OF HUMIC SUBSTANCES AND MINERAL FERTILIZATION IN IRRIGATED SOIL COLUMNS.

ABSTRACT

The soils of the Brazilian Cerrado are naturally infertile, which requires fertilization management to enable agricultural production. In this sense, this study aimed to evaluate the alternative use of humic substances (humic and fulvic acid) combined or not with mineral fertilization NPK in the process of nutrient retention in the soil. For this, an experiment was conducted in a greenhouse with PVC columns of 40cm high and 5cm in diameter, where they were filled with a Red Latosol, being half of the treatments fertilized with NPK. Humic substances were added at doses equivalent to 0, 60, 120 and 240 L ha⁻¹. After this, 10 irrigations were made with 32 mm rain simulation. After 30 days, soil samples were collected in the upper (0-20 cm) and lower (20-40 cm) layers of the columns. Soil samples were evaluated for P, K, Ca, Mg, pH and conductivity content. The experiment was in a completely randomized design, with a factorial statistical model of 2x2x4 with 3 replications totaling in 48 sample units. For interpretation of the data, variance analysis was performed and when the effect of the variation factors was significant, a 5% probability tukey test was applied, for the dose effect, regression analysis was used. The results showed that mineral fertilization complemented with the use of humic acid promoted a higher residual effect of Ca and K in the soil after 30 days. The fulvic acid, when used in a complementary way to mineral fertilization, promoted a higher amount of P in the soil. In the absence of mineral fertilization, the effect of humic substance use is low on the availability of nutrients in the soil.

Keywords: Humic acid, fulvic acid, NPK

1 INTRODUÇÃO

O uso de fertilizantes de forma intensiva na agricultura tem gerado preocupação devido o excesso de nutrientes no solo, o que pode causar poluição ambiental de mananciais pelo processo de lixiviação. Nos solos do Cerrado, devido à baixa disponibilidade natural de nutrientes, há a maior necessidade de adição de fertilizantes, o que requer critérios no manejo da adubação, visando manter altas produtividades agrícolas, ao mesmo tempo, a longevidade do solo e a qualidade da água.

As principais limitações da maioria dos solos do Cerrado, sobretudo a classe dos Latossolos, são: insuficiente desenvolvimento de cargas elétricas negativas, a elevada adsorção específica de fosfatos, a baixa disponibilidade de nutrientes e as altas concentrações de íons alumínio tóxicos (SOUZA E LOBATO, 2004; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014; SILVA E LANA, 2015). Essas adversidades podem ser minimizadas com o incremento e preservação da matéria orgânica, visto que esta apresenta grupos funcionais eletricamente carregados, auxiliando no aumento da CTC, diminuição da adsorção específica de P, disponibilização de nutrientes e capacidade de complexação com íons alumínio, reduzindo sua toxicidade (ROSE *et al.*, 2014; GUO *et al.*, 2019).

Os grupos funcionais da matéria orgânica do solo são encontrados em moléculas orgânicas simples denominadas substâncias não húmicas ou biomoléculas (proteínas, carboidratos e celulose), cuja permanência no solo é rápida devido a alta labilidade, e em moléculas complexas como as substâncias húmicas, com maior tempo de residência no solo, capazes de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo por maior tempo (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014). De acordo com Qian *et al.* (2015) as substâncias húmicas podem ser um importante reservatório de nitrogênio, fósforo e potássio, melhorando a estrutura física, aeração, drenagem do solo e aumento na capacidade de troca de cátions. Assim, o uso de substâncias húmicas tende a potencializar o solo e isso têm chamado a atenção da indústria de fertilizantes que têm lançado no mercado produtos à base de substâncias húmicas ou essencialmente de ácido fúlvico ou húmico, que são frações das substâncias húmicas com propriedades distintas.

Segundo revisão de Baldotto e Baldotto (2014) os ácidos fúlvicos foram definidos como produto da associação de moléculas pequenas e hidrofílicas, com uma quantidade de grupos funcionais ácidos suficiente para manter os agregados dispersos, em qualquer valor de pH. Enquanto, os ácidos húmicos foram definidos como associações nas quais predominam

compostos hidrofóbicos (cadeias polimetilênicas, ácidos graxos, esteroides), estabilizados em pH neutro por forças hidrofóbicas dispersivas.

Vários estudos reportaram os benefícios de substâncias húmicas no solo, especificamente, nos processos físicos do solo como agregação e porosidade (TAVARES *et al.*, 2019), aumento da capacidade de troca de cátions (SILVA E LANA, 2015), complexação de íons no solo (CANELLAS *et al.*, 2015), na redução da lixiviação (GUO *et al.*, 2019; ROSE *et al.*, 2014), aumento da microbiota do solo (ZHANG *et al.*, 2014) e aumento da eficiência da adubação mineral (KARČAUSKIENĖ *et al.*, 2019).

Apesar disto, a natureza das substâncias húmicas varia bastante, causando ceticismo quanto à sua eficácia. Parte da razão para isto é, sem dúvida, devido à grande variação de suas propriedades físicas e químicas (ROSE *et al.*, 2016), pois são formadas em condições ambientais diversas o que as torna heterogêneas e com difícil definição de sua estrutura molecular (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014). Além disso, a recomendação de taxas de aplicação de produtos comerciais à base de substância húmicas é geralmente pequena, em relação a quantidade natural presente no solo e como consequência, o efeito das substâncias húmicas é substancialmente menos previsível do que o uso de fertilizantes inorgânicos (ROSE *et al.*, 2016).

Visando identificar as limitações e o potencial de uso de produtos comerciais à base de substâncias húmicas, em solos do Cerrado, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso alternativo de substâncias húmicas (ácido húmico e fúlvico) combinados ou não da adubação mineral com NPK em colunas na retenção de nutrientes no solo. A hipótese é que a adição de substâncias húmicas de forma complementar à adubação mineral com NPK promove maior retenção de cátions no solo, mesmo após eventos forçados de irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade de Rio Verde - UniRV, em Rio Verde - GO, em casa de vegetação climatizada e organizado em delineamento inteiramente casualizado. O clima de Rio Verde é do tipo Aw, típico de clima tropical, segundo classificação de Koppen-Geiger, caracterizado por estações secas de abril a outubro, com temperatura média de 23°C e precipitação média anual de 1550 mm.

Tratamentos

Os tratamentos consistiram no uso de dois produtos comerciais à base de substâncias húmicas, sendo um com maior quantidade de ácido húmico (AH) e outro com maior quantidade de ácido fúlvico (AF) (tabela 5) aplicados em solo com presença e ausência de adubação NPK na formulação 17-14-10.

Tabela 5 - Análise química e física de produtos comerciais contendo ácido húmico e fúlvico

Variável	Unidade	Ácido húmico (AH)	Ácido fúlvico (AF)
Carbono – AH	%	25,00	2,30
Carbono – AF	%	5,00	26,00
Densidade	g mL	1,01	1,29
pH	-	3,40	2,90
Carbono orgânico	%	31,00	18,00
Nitrogênio	%	3,20	1,50
Massa seca	%	2,41	1,33
Condutividade elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	7,32	6,45

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho de textura média, com 34% de argila, coletado em área de vegetação nativa, na profundidade de 0-20 cm, cujas principais características podem ser visualizadas na tabela 6, sendo o mesmo seco ao ar e peneirado a 2 mm para obtenção de TFSA, visando manter a uniformidade de porosidade entre os tratamentos.

Tabela 6 - Características química e física de um Latossolo Vermelho de vegetação nativa do Cerrado em Rio Verde/GO

Prof	pH	CTC	SB	K	Ca	Mg	P	V	MO	Areia	Silte	Argila
cm	-	cmolc dm ⁻³				mg kg ⁻¹		%				
0-20	4,2	7,1	0,2	0,07	0,1	0,04	0,12	3,4	1,5	40,0	26,0	34,0

MO: matéria orgânica

As amostras de solo tiveram pH corrigido, com calcário calcítico na quantidade equivalente a 4 t ha⁻¹ (0,94 g coluna⁻¹, sendo que cada coluna teve aproximadamente 0,94 kg de solo). Para cálculo da calagem, foi utilizada a metodologia da saturação por bases, com valor de 60%, ideal para desenvolvimento de culturas, como o milho. Foram mantidas sob incubação por 30 dias com 70% da capacidade de retenção de água, seguindo metodologia de Conte et al. (2017).

Parte das amostras foi adubada com NPK, baseado-se na obtenção de 6-8 ton ha⁻¹ de

produtividade local para a cultura do miho. Foram aplicados o equivalente a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, 70 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl e 120 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. Foram construídas colunas, material PVC, com dimensão de 40 cm de altura x 5 cm de diâmetro, abertas nas duas extremidades. Na extremidade inferior de cada coluna, foram presos filtros de tecido (material perflex) visando reter o solo.

Após isto, foi adicionado às colunas aproximadamente 0,94 kg de solo, cuja quantidade foi baseada na densidade natural do solo coletado de 1,20 g cm⁻³, avaliada através da coleta de amostra indeformada com anéis volumétricos de volume conhecido.

As substâncias húmicas foram adicionadas nos tratamentos em doses equivalentes a 0, 60, 120 e 240 L ha⁻¹ (0, 20, 40 e 80 µL coluna⁻¹). Devido a pequena quantidade de ácido orgânico por coluna, os produtos foram aplicados em solução (5 mL de solução por coluna), mantendo a proporção de cada dose.

Ensaio de Irrigação

Foram realizadas 10 irrigações em um período de 30 dias, iniciando em 10/10/2018 e finalizando em 11/12/2018, cuja frequência de molhamento das colunas foi a cada 3-4 dias. A quantidade de água inicial representou em condições de campo, uma chuva de 32 mm, ideal para início de arranque de culturas de grãos. As quantidades posteriores de água adicionada nas colunas foram monitoradas (pesadas em balança), cujo objetivo era manter o solo na capacidade de campo.

Após o período de 30 dias, foram coletadas amostras de solo das colunas de irrigação na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) da coluna. As mesmas foram secas ao ar e peneiradas em peneira com abertura de malha de 2 mm (TFSA) para análises da quantidade de P, K, Ca, Mg, pH e condutividade elétrica no solo, conforme Embrapa (2009), visando averiguar o efeito residual de nutrientes por adição das substâncias húmicas, após o período de 30 dias.

Análise estatística

As parcelas experimentais foram organizadas em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com modelo estatístico fatorial 2x2x4, sendo a presença ou ausência de adubação mineral, 2 tipos de substâncias húmicas e 4 doses de aplicação, com 3 repetições, totalizando 48 unidades amostrais.

Para interpretação de dados, foi feita análise de variância e quando o efeito dos fatores de variações foi significativo, foi aplicado teste de tukey 5% de probabilidade entre as médias.

Para efeito das doses, foi utilizada análise de regressão. Foi utilizado o programa SISVAR Versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da adubação mineral com NPK apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para P, K, Ca e condutividade elétrica (CE), tanto na camada superior (0-20 cm), quanto inferior (20-40 cm) das colunas (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância com Fc calculado para nutrientes retidos no solo na camada superior (0-20 cm) e inferior (20-40 cm) de colunas com utilização de substâncias húmicas em diferentes doses e com ausência ou presença de adubação mineral

Fator de variação	GL	P	K	Ca	Mg	pH	Cond
Camada superior (0-20 cm)							
Adubação	1	1	15,50	18,43*	1,20 ^{ns}	1,52 ^{ns}	69,88**
Substâncias húmicas-SHs	1	0,	1,29 ^{ns}	3,39 ^{ns}	9,49**	0,67 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Dose SHs	3	1,	0,83 ^{ns}	2,63 ^{ns}	2,89*	0,22 ^{ns}	1,94 ^{ns}
Adubação x SHs	1	0,	1,39 ^{ns}	12,69*	0,46 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,003 ^{ns}
Adubação x Dose SHs	3	1,	0,48 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,27 ^{ns}
SHs x Dose SHs	3	3,	3,14*	0,50 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,58 ^{ns}
AdubaçãoxSHsxDose	3	3,	4,06*	1,16 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,87 ^{ns}
Erro	32	-	-	-	-	-	-
CV	-	5	62,09	9,94	21,30	16,37	27,67
Camada inferior (20-40 cm)							
Adubação	1	3	40,49	9,50*	0,98 ^{ns}	0,33 ^{ns}	361,93*
Substâncias húmicas-SHs	1	0,	0,55 ^{ns}	1,27 ^{ns}	7,10*	3,02 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Dose SHs	3	0,	0,52 ^{ns}	5,85*	4,90*	0,35 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Adubação x SHs	1	0,	0,17 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,58 ^{ns}
Adubação x Dose SHs	3	0,	0,24 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,10 ^{ns}
SHs x Dose SHs	3	2,	1,26 ^{ns}	1,03 ^{ns}	2,82 ^{ns}	3,51 ^{ns}	0,05 ^{ns}
AdubaçãoxSHsxDose	3	2,	1,22 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,91 ^{ns}
Erro	32	-	-	-	-	-	-
CV	-	4	41,94	7,74	20,34	15,89	19,00

Adubação: presença ou ausência de adubação mineral; Substâncias húmicas-SHs: uso de ácido húmico ou fúlvico; Dose SHs: dose das substâncias húmicas. MO: matéria orgânica. ^{ns}: não significativo; *, **: significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente.

Quando avaliada a interação entre os fatores, foi possível observar efeito significativo ($p < 0,05$) da adubação (fator¹) e substâncias húmicas (fator²) para o teor de Ca na camada de solo 0-20 cm.

A interação entre o fator² com doses de aplicação de substâncias húmicas (fator³) para Mg nas duas camadas de solo avaliadas. Ocorreu interação tripla dos três fatores foi significativa ($p < 0,05$) para P e K na camada de solo de 0-20 cm (Tabela 7).

A adubação mineral promoveu maior quantidade ($p < 0,05$) de P e Ca no solo e maior CE, quando comparado com o tratamento sem adubação mineral independente da presença ou ausência de substâncias húmicas. Para P e CE essa diferença foi significativa, tanto na camada 0-20, quanto 20-40 cm, enquanto que Ca foi na camada 20-40 cm (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores médio de P, K, Ca e Mg em amostras de solo nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm em condições de solo com e sem adubação NPK

Adubação NPK	P	K	Ca	Mg	pH	Cond
	----- mg kg ⁻¹ -----			-	-	µm cm ⁻¹
Camada superior (0-20 cm)						
Ausência	0,48 b	40,66 a	5,24 a	0,99 a	7,77 a	124,76 b
Presença	9,66 a	85,02 a	5,93 a	1,06 a	7,33 a	249,81 a
Camada inferior (20-40 cm)						
Ausência	0,48 b	41,35 a	5,76 b	0,79 a	7,23 a	133,59 b
Presença	8,09 a	93,18 a	6,18 a	0,84 a	7,04 a	425,21 a

Média seguidas de mesma letra na coluna para cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. *dados médios de 10 eventos de irrigação.

Apesar disto, levando-se em consideração a quantidade de 50 mg kg⁻¹ de P adicionado ao solo via adubação mineral, a quantidade de P restante no solo após os eventos de irrigação foi de 9,66 mg kg⁻¹ (19,32 kg ha⁻¹) na camada superior de 8,09 mg kg⁻¹ (16,18 kg ha⁻¹) na camada inferior da coluna, quantidades estas insuficientes para suprir as exigências de P pelas plantas. De acordo com Souza e Lobato (2004), a necessidade de P para suprimento das plantas é de em média 30 kg ou 60-100 kg de P₂O₅.

O fato do fertilizante fosfatado ter sido misturado ao solo, possivelmente possibilitou uma elevada adsorção de P e reduzindo o aproveitamento desse elemento pela planta (MALAVOLTA, 1981). Resultados do presente estudo atestam para esta hipótese. Machado *et al.*, (2011) em estudo para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas observaram que em solo de textura média, quanto maior a dose de P₂O₅ aplicada, maior a adsorção. Novais *et al.*, (2007) relataram que a retenção do P adicionado ao solo,

ocorre pela precipitação deste elemento em solução com formas iônicas de Fe^{3+} , Al^{3+} e Ca^{2+} , e de maneira mais significativa pela sua adsorção pelos hidróxidos de Fe^{3+} e de Al^{3+} , presentes em maiores quantidades nos solos tropicais mais intemperizados. Por outro lado, para diminuir a adsorção, utiliza-se a aplicação localizada do adubo fosfatado e, como consequência, pequena porção do sistema radicular entra em contato com o P proveniente do adubo.

O teor de Ca no solo com adubação foi de $6,18 \text{ mg kg}^{-1}$ foi maior ($p < 0,05$) ao detectado no solo, sem adubação mineral, com $5,76 \text{ mg kg}^{-1}$ na camada 20-40 cm (Tabela 8). Possivelmente devido à adição do superfosfato simples, que também é fonte de Ca para o solo, contendo de 18 a 20% de Ca.

Na avaliação da interação entre os fatores adubação e substâncias húmicas, no solo com adubação mineral, o teor de Ca foi maior no solo com adição de ácido húmico comparado ao ácido fúlvico com valores de $6,36$ e $5,50 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente (Figura 4). Este efeito deve estar ligado ao fato do Ca participar ligando o ácido húmico às partículas argilominerais do solo, formando complexos juntamente com Fe e Al. Estudo de Silva e Lana (2015) também detectaram maior teor de Ca no solo com utilização de doses de ácido húmico, sendo que na maior dose (correspondente a 120 L ha^{-1}), o incremento foi de 100%.

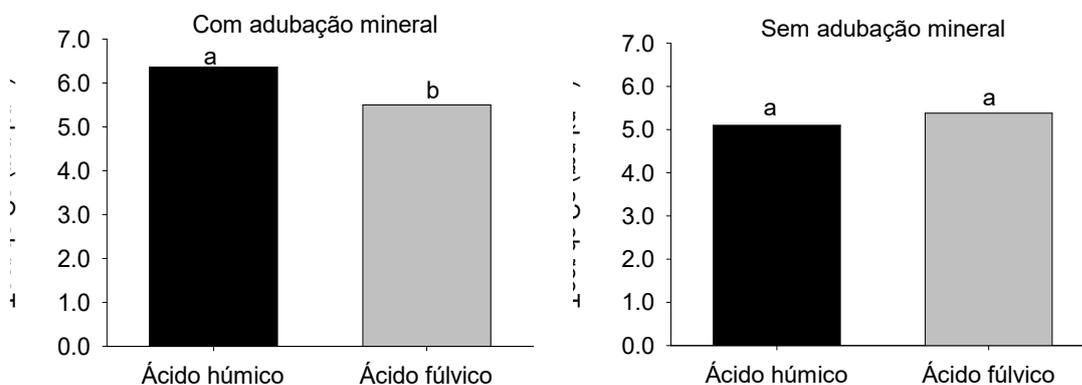
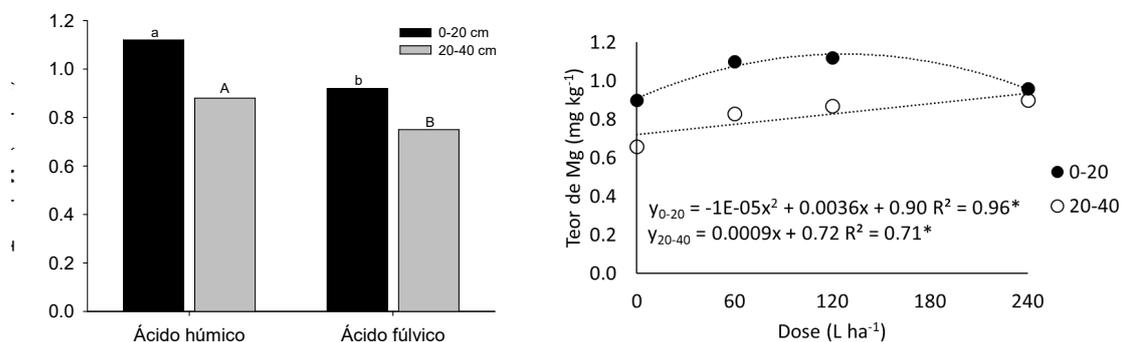


Figura 4 - Efeito da adição de substâncias húmicas com e sem adubação mineral no teor de Ca do solo (20-40 cm) após 30 dias. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

Este resultado sinaliza a importância das substâncias húmicas serem utilizadas de forma complementar, à adubação mineral e nunca substitutiva, quando trata-se das dinâmicas de nutrientes no solo. Visto que as substâncias húmicas possuem matriz química variável, podendo ou não disponibilizar determinado elemento no solo, enquanto que as fontes minerais, no geral, já liberam no solo elementos prontamente disponíveis.

Para o Mg no solo, quando avaliado o efeito do uso de substâncias húmicas, a adição de ácido húmico promoveu maior efeito residual do Mg no solo com valores de 1,12 e 0,88 mg kg⁻¹ nas camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, quando comparado com o uso de ácido fúlvico com valores de 0,92 e 0,75 mg kg⁻¹ nas camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 5). Silva e Lana (2015) também detectaram efeito potencial do ácido húmico na disponibilidade de Mg no solo em estudo que testou fontes ácidas (ácido húmico ou fosfórico) no tratamento de rocha para disponibilidade de K, Ca e Mg.



* Significativo a 5%.

Figura 5 - Efeito da adição de substâncias húmicas (esquerda) e da dose de aplicação de substâncias húmicas (direita) no teor de Mg do solo na camada 0-20 e 20-40 cm após 30 dias. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

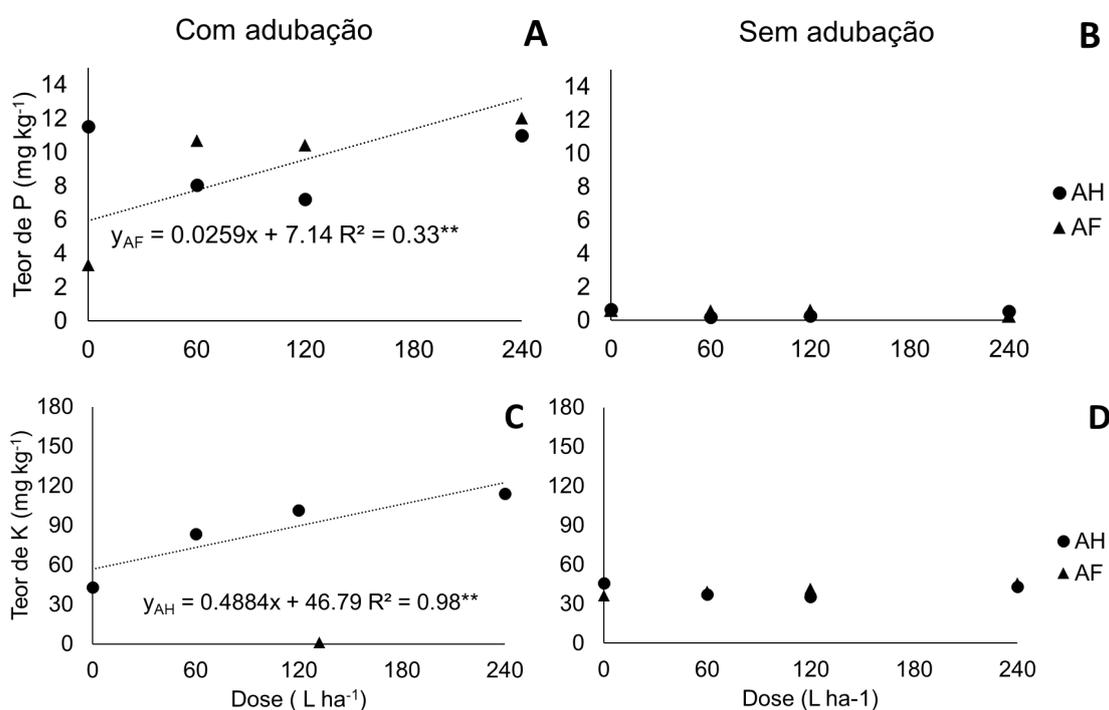
Além disso, o efeito da dose de aplicação de substâncias húmicas para Mg foi significativo, onde é possível observar, no geral, aumento no teor de Mg conforme aumenta a dose de aplicação de substâncias húmicas, cujo efeito foi expressivo na camada 20-40 cm, com tendência linear (Figura 5).

Os maiores valores de Ca e Mg devido o uso de ácido húmico demonstra um efeito potencial desta fração orgânica como condicionador de solo, quando comparado à fração ácido fúlvico, cujo efeito promove melhorias na estabilidade de agregados do solo (TAVARES *et al.*, 2019; KARČAUSKIENĖ *et al.*, 2019; ROSE *et al.*, 2014), consequentemente no espaço poroso e nos processos de retenção da solução do solo. Resultados de Cihlar *et al.*, (2014) demonstraram que a adição de ácido húmico triplicou o potencial de retenção de água no solo.

O teor de P e K no solo na camada de 0-20 cm, após o período de 30 dias, foi influenciado pela interação dos fatores adubação x produto x dose, onde os teores aumentaram conforme aumentou a dose de aplicação (Figura 6), porém, este efeito foi potencializado nos tratamentos com adubação mineral.

O uso de substâncias húmicas aumenta o número de cargas negativas do solo e, como consequência, mais cátions poderão se ligar eletrostaticamente à fase sólida, diminuindo com isso, a lixiviação (SILVA E LANA, 2015; BALDOTTO E BALDOTTO, 2014).

De acordo com alguns autores, as substâncias húmicas geram uma grande quantidade de ligantes estáveis para a formação de complexos com cátions metálicos (GUO *et al.*, 2019; CANELLAS *et al.*, 2015), devido à presença de grupos funcionais que reagem rapidamente com cátions polivalentes na superfície das partículas de argila formando complexos argilo-metal-humus (PICCOLO *et al.*, 1996; ROSE *et al.*, 2014).



** Significativo a 1%.

Figura 6 - Efeito da adição de substâncias húmicas em solo com e sem adubação mineral no teor de P (A, B) e K (C, D) no solo (0-20 cm) após 30 dias.

Para o teor de P, a adição de ácido fúlvico pode ter contribuído com até 14% (1,38 mg kg⁻¹) do P residual no solo, considerando a maior dose de aplicação (Figura 6A), cuja contribuição maior de P foi oriunda da adubação mineral, com efeito residual de 9,66 mg kg⁻¹ (Tabela 6), de um total de 50 mg kg⁻¹ adicionados.

Apesar da baixa contribuição do ácido fúlvico na liberação de P, alguns trabalhos mostraram o potencial do uso de substâncias húmicas na disponibilidade de P. Em revisão de Rose *et al.*, (2014) e Guo *et al.*, (2019) os autores relataram que o uso de substâncias húmicas, devido a presença de grupos funcionais eletricamente carregados, podem promover, dentre

outras coisas, a diminuição da adsorção específica de P, disponibilização o nutriente no solo.

Enquanto que Yang *et al.*, (2013) observaram que à medida em que aumentou as doses de aplicação de ácido fúlvico, aumentou consideravelmente vários aspectos no solo como: diminuição da acidez do solo, aumento da CTC e da população microbiana, cujos fatores podem ter otimizado as condições de disponibilidade de fósforo no solo. Concluíram que o uso de ácido fúlvico em conjunto com uma fonte mineral é a melhor opção para melhorar a disponibilidade de P e as condições físico-químicas do solo, de forma semelhante aos resultados deste trabalho.

Enquanto para o K, a adição de ácido húmico promoveu efeito residual mais significativo conforme aumentou a dose de aplicação (Figura 6C). Do total de K adicionado ao solo (118 mg kg⁻¹, considerando adubação mineral e maior dose de aplicação de ácido húmico), 71% (85,02 mg kg⁻¹) de K ficou retido na camada superior (0-20 cm) da coluna.

Na comparação do uso de substâncias húmicas, o ácido húmico contribuiu para os valores de K no solo de forma mais significativa que a adubação mineral, pois enquanto o teor de K via adubação mineral foi de 35 mg kg⁻¹, com adição de ácido húmico foi de 56 mg kg⁻¹.

Estudo de Zhang *et al.*, (2013) também identificaram maior teor de K em solo adubado com composto mineral acrescido de ácido húmico com aproximadamente 320 mg kg⁻¹ de K, em comparação ao solo adubado mas sem ácido húmico com 250 mg kg⁻¹ em Cambissolo na China.

4 CONCLUSÃO

- A adubação mineral complementada, com uso de ácido húmico promoveu maior efeito residual de Ca e K, no solo.
- A adubação mineral complementada, com uso de ácido fúlvico promoveu maior efeito residual de P, no solo.
- Na ausência de adubação mineral, o efeito do uso de substâncias húmicas é baixo na disponibilização de nutrientes, no solo.

REFERÊNCIAS

- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. Revista Ceres, v. 61, Suplemento, p.856-881, 2014.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; AGUIAR, N. O.; JONES, D. I.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Science Horticulturae, v. 196, p. 15-27, 2015.
- CIHLAR, Z.; VOJTOVÁ, L.; CONTE, P.; NASIR, S.; KUCERÍK, J. Hydration and water holding properties of cross-linked lignite humic acid. Geoderma, v. 230-231, p. 151-160, 2014.
- CONTE, A. M.; MARQUES, R. D.; REIS, A. S.; VIECELLI, H. A. Colunas de lixiviação com solos de texturas arenosa e argilosa e aplicação de biossólidos. Scientia Agraria Paranaensis, v. 16, p. 302-307, 2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análise químicas de solos, plantas e fertilizantes – 2 Ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. Revista Brasileira de Biometria, v.37, n.4, p.529-535, 2019.
- GUO, X X.; LIU, H. T.; WU, S. B. Humic substances developed during organic waste composting: form Zandoná ation mechanisms, structural properties adn agronomic functions. Science of the Total Environment, v. 662, p. 501-510, 2019.
- KARČAUSKIENĖ, D.; REPŠIENĖ, R.; AMBRAZAITIENĖ, D.; MOCKEVIČIENĖ, I.; ŠIAUDINIS, G.; SKUODIENĖ, R. A complex assessment of mineral fertilizers with humic substances in an agroecosystem of acid soil. Zemdirbyste-Agriculture, v. 106, p. 307–314, 2019.
- MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q., KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. Bioscience Journal, v. 27, p. 70-76, 2011.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594p.
- 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: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J. S. C. Effect of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. Soil and Use Managment, v. 12, p. 209-213, 1996.

QIAN S.; DING W.; LI Y., LIU G.; SUN I.; DING Q. Characterization of humic acids derived from leonardite using a solid-state MMR spectroscopy and effects of humic acids on growth and nutrient uptake of snap bean. *Chemical Speciation and Bioavailability*, v. 27, n.4, p. 156–161, 2015

ROSE, M. T.; PATTI, A. F.; LITTLE, K. R.; BROWN, A. L.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture, v. 124, p. 37-89, 2014.

SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Incubação do verdete com diferentes fontes de ácidos para disponibilização de potássio, cálcio, magnésio do solo. *Holos*, v. 5, p. 73-83, 2015.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do Solo e Adubação 2º Edição. Edi. Embrapa: Informação Tecnológica, Brasília, 2004, 416 p.

TAVARES, R. L. M.; ASSIS, R. L.; FERREIRA, R. V.; MENEZES, J. F. S.; SIMON, G. A.; BOLDRIN, P. F.; CANTÃO, V. C. G. Long term application of pig manure on the chemical and physical properties of Brazilian Cerrado soil. *Carbon Management*, v. 10, 2019.

YANG S.; ZHANG Z.; CONG L.; WANG X.; SHI S. Effect of fulvic acid on the phosphorus availability in acid soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.13, n.3, 2013.

ZHANG, L.; ZHOU, L.; ZHAO, Y. G.; ZHAI, Y.; WANG, K.; ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S. Optimal combination of chemical compound fertilizer and humic acid to improve soil and leaf properties, yield and quality of apple (*Malus domestica*) in the loess plateau of china. *Pak. J. Bot.*, v.45, n.4, p.1315-1320, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ácidos húmicos e fúlvicos possuem potencial para uso agrícola devido às suas propriedades de alta capacidade de troca iônica e principalmente, devido a sua composição sendo que no primeiro capítulo destacou-se que em condições de solo ácido. O uso de ácido fúlvico é mais expressivo na liberação de fósforo no solo quando comparado ao ácido húmico. Em condições de solo corrigido, o uso de ácido húmico disponibilizou mais cálcio no solo, que o ácido fúlvico.

No capítulo dois foi observado, que a adubação mineral complementada com uso de ácido húmico, promovendo maior efeito residual de Ca e K no solo, após eventos de irrigação. Também foi constatado, que a adubação mineral complementada, com uso de ácido fúlvico, promoveu maior efeito residual de P no solo após eventos de irrigação, e que na ausência de adubação mineral, o efeito do uso de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fulvicos) é baixo na disponibilização de nutrientes no solo.

Os ácidos húmicos e fúlvicos, apesar de serem diferentes, em termos de peso molecular e capacidade de troca iônica, resultam em benefícios similares, contudo ainda há a necessidade de maiores estudos sobre a funcionalidade e especificidade dos efeitos, que cada substância húmica exerce, nas espécies vegetais de interesse econômico.