

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação de Fertilizantes Granulados a Base de
Cloreto de Potássio e Ácidos Húmicos no
Desenvolvimento Vegetativo da Cultura do Milho
(*Zea mays* L.)**

Ricardo de Castro Dias

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTES GRANULADOS A BASE DE
CLORETO DE POTÁSSIO E ÁCIDOS HÚMICOS NO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA CULTURA DO MILHO
(*Zea mays* L.)**

RICARDO DE CASTRO DIAS

Sob a Orientação do Professor
Everaldo Zonta

e Co-orientação do Professor
Juliano Bahiense Stafanato

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do solo.

Seropédica, RJ
Agosto de 2018

D541a Dias, Ricardo de Castro, 1992-
Avaliação de Fertilizantes Granulados a Base de Cloreto de Potássio e Ácidos Húmicos no Desenvolvimento Vegetativo da Cultura do Milho (*Zea mays L.*) / Ricardo de Castro Dias. – Monte Santo de Minas, 2018.
68 f.: il.

Orientador: Everaldo Zonta.
Coorientador: Juliano Bahiense Stafanato.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, 2018.

1. Tecnologia. 2. Adubação. 3. Fertilidade do solo. 4. Nutrição mineral de plantas. I. Zonta, Everaldo, 1970-, orient. II. Stafanato, Juliano Bahiense, 1981-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

RICARDO DE CASTRO DIAS

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/08/2018.

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho. Dr. UFRRJ

Paulo César Teixeira. Dr. Embrapa Solos

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Maria e ao meu pai José, por todo o apoio e motivação, sempre me apoiando em minhas escolhas.

À minha irmã Patrícia, meus sobrinhos Otávio Henrique e Lorena, e ao meu cunhado Adriano, por todo apoio e incentivo.

A todos os integrantes do grupo de pesquisa do Laboratório de Estudos das Relações Solo-Planta (LSP) do Departamento de Solos da UFRRJ, pela amizade e pela ajuda prestada durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao professor e orientador Everaldo Zonta, pela orientação, atenção, dedicação e pelo exemplo de bom profissional que é para mim.

Aos meu co - orientador Juliano Bahiense Stafanato, pelas valiosas contribuições nesse projeto, e por todos ensinamentos.

Ao amigo e companheiro João Augusto Loiola, pela dedicação, amizade e todo seu esforço para a conclusão desta obra.

Aos amigos da República Subaco de Cobra onde encontrei uma família, por toda a amizade e convivência dos últimos anos.

À Thais Aparecida e à Ana Carolina Antunes, pelo acolhimento, amizade e companheirismo.

Ao professor Marcos Gervásio Pereira, pela prontidão em ajudar e esclarecer minhas dúvidas.

Aos meus amigos e companheiros Anderson Ferrari e Derique Biassi que tanto me ajudaram durante esses dois anos.

Ao amigo Rodolfo, pela contribuição de suma importância com o presente trabalho.

Ao amigo Sael, pela paciência, orientação e ensinamentos.

Ao laboratório de Biologia do Solo, por ceder o espaço e os equipamentos para o isolamento e purificação dos ácidos húmicos.

À Embrapa Solos, por permitir o uso de equipamentos em seus laboratórios.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa.

A UFRRJ, principalmente ao CPGA-CS, por proporcionar a oportunidade de me tornar mestre.

BIOGRAFIA

Ricardo de Castro Dias, nascido em 30 de Novembro de 1992, na cidade de Monte Santo de Minas – MG, filho de José Ferreira Dias e Maria de Fátima Castro Dias. Em 2011 concluiu o curso Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal de Ciência, Tecnologia e Educação do Sul de Minas Gerais. Em 2012, ingressou no curso de graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo em 2016. Ainda em 2016, ingressou no Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RESUMO GERAL

DIAS, Ricardo de Castro. **Avaliação de fertilizantes granulados a base de cloreto de potássio e ácidos húmicos no desenvolvimento vegetativo da cultura do milho (*Zeamays L.*)**. 2018. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

O cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante potássico mais utilizado na agricultura brasileira, contudo, proporciona grandes perdas de potássio no solo através da lixiviação. Além disso, a aplicação de doses elevadas desse fertilizante na cultura do milho pode ser danosa, principalmente na fase inicial de desenvolvimento, devido ao elevado índice salino desse fertilizante. Os ácidos húmicos (AH) possuem elevada CTC e apresentam potencial para diminuir as perdas de potássio por lixiviação assim como minimizar os danos causados pelo cloreto de potássio à cultura do milho, principalmente na fase inicial de seu desenvolvimento. O presente trabalho tem como objetivo no Capítulo I, avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio, assim como o efeito do parcelamento da aplicação sobre o desenvolvimento da cultura do milho até o fim da fase vegetativa (VT), visando estabelecer um critério para o cálculo de doses de fertilizantes utilizados em casa de vegetação. O Capítulo II tem por objetivo avaliar o efeito de fertilizantes potássicos a base de cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos sobre o desenvolvimento e nutrição da cultura do milho, assim como sobre parâmetros da fertilidade do solo, comparativamente ao cloreto de potássio comercial. Para tal, foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando o híbrido de milho AG1051 como planta indicadora. No capítulo I, as diferentes doses e épocas de aplicação não interferiram na emergência e nem no crescimento das plantas de milho. A produção de massa seca da parte aérea aumentou linearmente com o aumento da dose, porém o acúmulo de potássio da parte aérea aumentou de maneira muito mais pronunciada. De maneira geral, as doses e épocas de aplicação do fertilizante exerceram pouca influência sobre o desenvolvimento da cultura do milho até o estágio VT. No capítulo II, a aplicação dos diferentes fertilizantes avaliados não influenciou de maneira pronunciada o desenvolvimento da cultura do milho até estágio fenológico VT, com a constatação de diferença irrelevante na germinação de plântulas e massa seca de raízes. As diferenças mais pronunciadas no estado nutricional foram obtidas no acúmulo de P, onde o cloreto de potássio granulado com ácido húmico extraído de vermicomposto apresentou o melhor desempenho. Já para N e K, as diferenças encontradas foram pequenas sendo que os fertilizantes granulados obtiveram desempenho similar ao cloreto de potássio comercial. Os parâmetros da fertilidade do solo foram pouco influenciados pela aplicação dos diferentes fertilizantes. De maneira geral, o cloreto de potássio granulado com ácido húmico extraído de vermicomposto promoveu ligeira melhora na fertilidade da camada de 0 a 10 cm de profundidade, quando comparado aos demais fertilizantes avaliados.

Palavras-chave: Tecnologias. Eficiência de fertilizantes. Fertilidade do solo.

GENERAL ABSTRACT

DIAS, Ricardo de Castro. **Evaluation of granular fertilizers based on potassium chloride and humic acids on the vegetative development of corn (*Zea mays* L.)**.2018. 68p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

Potassium chloride (KCl) is the most used potassic fertilizer in Brazilian agriculture, however, it provides great losses of potassium in the soil through leaching. In addition, the application of high doses of this fertilizer in the maize crop can be harmful, mainly in the initial phase of development, due to the high salt content of this fertilizer. Humic acids (HA) have high CEC and have the potential to decrease potassium losses by leaching as well as to minimize the damage caused by potassium chloride to corn, especially in the early stages of its development. The objective of this work is to evaluate the effect of the application of increasing doses of potassium chloride, as well as the effect of the application on the development of corn until the end of the vegetative phase (VT) a criterion for the calculation of doses of fertilizers used in greenhouse. Chapter II aims to evaluate the effect of potassium fertilizers based on potassium chloride granules with humic acids on the development and nutrition of maize, as well as on parameters of soil fertility, compared to commercial potassium chloride. For that, two greenhouse experiments were conducted in the experimental area of the Department of Soils of UFRRJ, using corn hybrid AG1051 as indicator plant. In Chapter I, the different doses and application times did not interfere in the emergence or growth of corn plants. Aerial dry mass production increased linearly with increasing dose, but the potassium accumulation of aerial part increased in a much more pronounced way. In general, fertilizer doses and application times exerted little influence on the development of the corn crop until the VT stage. In Chapter II, the application of the different evaluated fertilizers did not influence the development of the maize crop until the phenological stage VT, with irrelevant difference in germination of seedlings and dry mass of roots. The most pronounced differences in the nutritional status were obtained in the accumulation of P, where the potassium chloride granulated with humic acid extracted from vermicompost presented the best performance. However, for N and P, the differences found were small and the granulated fertilizers obtained similar performance to the commercial potassium chloride. The parameters of soil fertility were little influenced by the application of the different fertilizers. In general, potassium chloride granulated with humic acid extracted from vermicompost promoted a slight improvement in the fertility of the layer of 0 to 10 cm of depth, when compared to the other evaluated fertilizers.

Key words: Technologies. Fertilizer efficiency. Soil fertility.

LISTA DE SÍMBOLOS

AF – ácidos fúlvicos

AH – ácidos húmicos

AO – ácidos orgânicos

C_{AH} – quantidade de carbono de ácidos húmicos

CTC – capacidade de troca de cátions ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)

IHSS – International Humic Substances Society

KCl – cloreto de potássio

PVP – polivinilpirrolidona

SH – substâncias húmicas

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química de terra após a incubação.	12
Tabela 2. Detalhe dos tratamentos aplicados no experimento.....	12
Tabela 3. Resumo da análise de variância do número de plântulas emergidas no 4º, 5º, 6º e 7º dia após a semeadura de sementes de milho em resposta a aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas e doses.	17
Tabela 4. Resumo da análise de variância do índice de clorofila Falker® aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em resposta a aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas e doses.	19
Tabela 5. Resumo da análise de variância da massa seca de folhas (M.S.F.), colmos (M.S.C.), massa seca total da parte aérea (M.S.T.P.A.), de raízes (M.S.R.) e massa seca total (M.S.T.) de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio em diferentes épocas.....	20
Tabela 6. Resumo da análise de variância da altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em resposta a aplicação de cloreto de potássio em diferentes doses e épocas.	22
Tabela 7. Resumo da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em colmos, folhas e na parte aérea total (A.T.P.A.) de plantas de milho em função da aplicação de doses crescentes de KCl em épocas distintas.....	24
Tabela 8. Resumo da análise de variância do pH do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Época de aplicação”.	29
Tabela 9. Resumo da análise de variância do K disponível no solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Época de aplicação”.	30
Tabela 10. Teor de nitrogênio, fósforo e potássio dos ácidos húmicos utilizados na produção dos fertilizantes, em porcentagem ($m\ m^{-1}$).	37
Tabela 11. Composição dos fertilizantes granulados.	37
Tabela 12. Percentual de K_2O em cada fração dos fertilizantes elaborados.....	38
Tabela 13. Resumo da análise de variância da dureza dos fertilizantes de acordo com o fatorial “Fonte de Extração x Concentração de Ácido Húmico”.....	41
Tabela 14. Quadrados médios da análise de variância da emergência de plântulas de milho durante os primeiros sete dias após a aplicação dos tratamentos.	42
Tabela 15. Quadrados médios da análise de variância da altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) e da área foliar na ocasião da coleta em resposta a aplicação dos fertilizantes.	43
Tabela 16. Quadrados médios da análise de variância dos índices Falker® de clorofila aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em resposta a aplicação dos fertilizantes.....	45
Tabela 17. Quadrados médios da análise de variância da massa seca de folhas (M.S.F.), massa seca de colmos (M.S.C.), massa seca de panículas (M.S.P.), massa seca de raízes	

(M.S.R.) e da massa seca total (M.S.T.) acumulada por plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes potássicos.	47
Tabela 18. Quadrados médios da análise de variância do acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas (Ac. Folha), colmos (Ac. Colmo), panículas (Ac. Panícula), raízes (Ac. Raiz), total da parte aérea (Ac. T.P.A.) e total (Ac. Total) em plantas de milho em resposta a aplicação dos tratamentos.	48
Tabela 19. Quadrados médios da análise de variância das análises químicas de terra realizadas após o cultivo da cultura do milho nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade e média das quatro profundidades.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Vista da montagem do experimento com a incubação do solo com calcário (A) que após a incubação foi acomodado nos tubos (B) para posterior semeadura (C) e na sequência a aplicação de água e dos fertilizantes (D) de onde se seguiu com a condução do experimento realizando o desbaste (E) e o cultivo das plantas (F)..... 13
- Figura 2.** Temperatura e umidade relativa médias, máximas e mínimas no interior da casa de vegetação durante o cultivo do milho. 14
- Figura 3.** Condutividade elétrica do solo durante os primeiros sete dias após a semeadura (DAS) em resposta a diferentes épocas de aplicação (TP – Aplicação total no plantio; PA – Aplicação parcelada). As barras verticais representam a diferença mínima de significância para cada dia. 16
- Figura 4.** Número de plântulas emergidas no quarto (A), quinto (B), sexto (C) e sétimo (D) dia após a semeadura de sementes de milho em resposta a diferentes doses de cloreto de potássio (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. 17
- Figura 5.** Percentual de plântulas emergidas em decorrência da época de aplicação de KCl, total no plantio (TP) e parcelada (PA) do quarto ao sétimo dia após a semeadura (D.A.S.). Médias diárias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. 18
- Figura 6.** Índice de clorofila Falker (I.C.F.) aos quinze (A), trinta (B), quarenta e cinco (C) e sessenta (D) dias após a semeadura em resposta a aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). 19
- Figura 7.** Índice de clorofila Falker® (I.C.F.) aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em decorrência da época de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada avaliação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. 20
- Figura 8.** Acúmulo de massa seca de folhas, colmos, raízes, da parte aérea total e total em plantas de milho adubadas com cloreto de potássio em épocas distintas, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. 21
- Figura 9.** Massa seca de folhas (A), colmos (B), raízes (C), parte aérea total (D) e total de plantas de milho em resposta a doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. 21
- Figura 10.** Altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS), em função da aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. 23
- Figura 11.** Altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze (A), trinta (B), quarenta e cinco (C) e sessenta dias (D) após a semeadura, em função da aplicação de doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹).
^{ns} Regressão não significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. 23
- Figura 12.** Nitrogênio acumulado pelas folhas, colmos e pela parte aérea total de plantas de milho em função da aplicação de KCl em diferentes épocas, dose total no plantio (TP) e

parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.	25
Figura 13. Nitrogênio acumulado por folhas (A), colmos (B) e parte aérea total (C) de plantas de milho em resposta a doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso ⁻¹). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.	25
Figura 14. Acúmulo de fósforo em folhas, colmos e parte aérea total de plantas de milho em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) ou parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.	26
Figura 15. Acúmulo de fósforo nas folhas (A), colmos (B) e parte aérea total (C) de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso ⁻¹).	26
Figura 16. Acúmulo de potássio em folhas (A), colmos (B) e parte aérea total de plantas de milho em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.	27
Figura 17. Acúmulo de potássio em folhas (A), colmos (B) e parte aérea total (C) de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso ⁻¹). *Regressão significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.	28
Figura 18. Valores de pH do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.	29
Figura 19. Potássio disponível no solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.	30
Figura 20. Extração (A) e centrifugação (B) das SH; separação das frações AF e AH (C); diálise dos AH (D); AH momentos antes da liofilização (E); e liofilização dos AH (F). .	36
Figura 21. Temperatura e umidade relativa média, máxima e mínima no interior da casa de vegetação durante o cultivo do milho.	39
Figura 22. Análise de regressão da dureza dos fertilizantes em resposta ao aumento da concentração dos ácidos húmicos (AH). Regressão significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.	41
Figura 23. Condutividade elétrica do solo nos sete primeiros dias após a semeadura (DAS) em resposta às diferentes concentrações de ácidos húmicos (AH).	42
Figura 24. Porcentagem de plântulas emergidas no quinto (A) e sétimo (B) dias após a aplicação dos tratamentos. Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. ...	43
Figura 25. Altura de inserção da última folha completamente expandida nas quatro avaliações quinzenais (A), e área foliar das plantas de milho na ocasião da coleta (B) em resposta a aplicação dos fertilizantes: KCl comercial, e KCl granulado com ácido húmico extraído de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV).	44
Figura 26. Índice de clorofila b aos sessenta dias após a semeadura (DAS) (A), nas quatro avaliações (B) e índice de clorofila total (I.C.F.T.) (C) nas quatro avaliações em respostas a aplicação dos fertilizantes: cloreto de potássio comercial, cloreto de potássio granulado	

- com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Barras verticais indicam a diferença mínima de significância. Colunas seguidas de mesma letra, dentro de cada avaliação, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%...46
- Figura 27.** Massa seca acumulada (M.S.A.) pelas raízes (A) e nos demais órgãos vegetais (B) em plantas de milho adubadas com cloreto de potássio comercial, cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e de vermicomposto (KCl + AHV).47
- Figura 28.** Acúmulo de nitrogênio total da parte aérea (A.N.T.P.A.) e do acúmulo de nitrogênio total (A.N.T.) em plantas de milho em resposta ao aumento da concentração de ácidos húmicos (AH) nos fertilizantes. *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.49
- Figura 29.** Acúmulo de fósforo (A.P.) nas raízes (A), acúmulo total (B) e nos diferentes órgãos (C) em plantas de milho em resposta a aplicação de diferentes fertilizantes: cloreto de potássio comercial, cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada órgão pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.50
- Figura 30.** Acúmulo de potássio (A.K.) nas folhas (A), na parte aérea total (P.A.T.) (B), o acúmulo total (C) e o acúmulo de potássio em cada órgão vegetal (D). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.51
- Figura 31.** Fósforo disponível no solo em resposta à aplicação de fertilizantes com concentrações crescentes de ácidos húmicos nas camadas de 0 a 10 (A), 10 a 20 (B), 0 a 40 (C) e em resposta aos diferentes fertilizantes aplicados (D). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.54
- Figura 32.** Potássio trocável nas quatro camadas de profundidade do solo após o cultivo da cultura do milho em resposta a aplicação dos fertilizantes: cloreto de potássio comercial; cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.54
- Figura 33.** Análise de regressão (A), e valores de cálcio trocável na camada de 30-40 cm de profundidade (B), nas quatro camadas (C) e regressão do cálcio trocável médio das quatro camadas (D) em resposta a aplicação de cloreto de potássio comercial (KCl) e acrescido com ácido húmico extraído de turfa (KCl + AHT) ou de vermicomposto (KCl + AHV). Regressões significativas pelo teste F a 5% de probabilidade; Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.55
- Figura 34.** Magnésio trocável no solo na camada de 0 a 10 cm de profundidade (A) e nas quatro camadas avaliadas (B). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.56
- Figura 35.** Soma de bases na camada se 0 a 10 cm de profundidade (A) em nas quatro camadas avaliada em função da aplicação dos fertilizantes: KCl comercial, KCl granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância. ...56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Importância do Potássio para as Plantas	2
2.2 Potássio no Solo	2
2.3 Cloreto de Potássio e Tecnologias Agregadas a Fertilizantes Potássicos	3
2.4 As Substâncias Húmicas	4
2.5 Importância das Substâncias Húmicas	5
2.6 Os Ácidos Húmicos	6
2.7 A Cultura do Milho	7
3 CAPÍTULO I CALIBRAÇÃO DE DOSES DE K₂O PARA ENSAIOS EM CASA DE VEGETAÇÃO	8
3.1 RESUMO	9
3.2 ABSTRACT	10
3.3 INTRODUÇÃO	11
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.5.1 Avaliação da emergência	16
3.5.2 Índice de clorofila Falker®	18
3.5.3 Produção de matéria seca	20
3.5.4 Altura de inserção da última folha expandida	22
3.5.5 Acúmulo de macronutrientes primários na parte aérea	24
3.5.6 pH do solo	28
3.5.7 K disponível no solo	29
3.6 CONCLUSÕES	31
4 CAPÍTULO II TESTE DE DESEMPENHO DE CLORETO DE POTÁSSIO GRANULADO COM ÁCIDOS HÚMICOS	32
4.1 RESUMO	33
4.2 ABSTRACT	34
4.3 INTRODUÇÃO	35
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.4.1 Obtenção dos ácidos húmicos	36
4.4.2 Produção dos fertilizantes	37
4.4.3 Caracterização experimental	38
4.4.4 Análises laboratoriais e estatísticas	40
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.5.1 Dureza e solubilidade dos fertilizantes	41

4.5.2 Condutividade elétrica do solo e emergência das plântulas de milho.....	41
4.5.3 Avaliações biométricas	43
4.5.4 Índices de clorofila.....	44
4.5.5 Acúmulo de massa seca	46
4.5.6 Acúmulo de NPK.....	48
4.5.7 Nutrientes disponíveis no solo	52
4.6 CONCLUSÕES	58
5 CONCLUSÕES GERAIS	59
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com o avanço tecnológico da agricultura brasileira, altas doses de fertilizantes são requeridas para a obtenção de elevadas produtividades. Frequentemente, novos híbridos de milho são lançados no mercado e, via de regra, cada vez mais exigentes quanto à fertilidade do solo e mais responsivos à adubação. Junto ao nitrogênio, o potássio é o nutriente mineral absorvido em maiores quantidades pela cultura. Dentre os fertilizantes potássicos mais utilizados se destaca o cloreto de potássio que é a principal fonte de K_2O para a agricultura brasileira. Quase a totalidade desse fertilizante é importada, o que gera uma grande dependência política e econômica do Brasil perante os países exportadores.

O uso de doses elevadas de cloreto de potássio e de maneira inadequada pode afetar negativamente o desenvolvimento inicial da cultura do milho, assim como potencializar as perdas de potássio pela lixiviação. Portanto, se faz necessária a elaboração de novas técnicas e tecnologias com o intuito de aumentar a eficiência da adubação potássica, diminuindo assim a quantidade de fertilizante aplicada.

Os problemas causados pela aplicação do cloreto de potássio se devem, principalmente, a elevada solubilidade desse fertilizante. Em meio aquoso, tal fertilizante se dissocia rapidamente em K^+ e Cl^- que, quando aplicado nos cultivos, eleva a condutividade elétrica da solução do solo, facilita a movimentação do K^+ através do perfil do solo e disponibiliza elevadas concentrações de Cl^- , que é preocupante para culturas sensíveis, podendo ocasionar diminuição na germinação de sementes, redução no crescimento e até mesmo a morte de plantas. Tendo em vista esta problemática, as hipóteses científicas desse trabalho são: Os ácidos húmicos são moléculas de elevado peso molecular, capazes de formar ligações através de seus grupos funcionais com o K^+ e, quando acrescidos ao cloreto de potássio, proporciona uma liberação mais gradual do K^+ ; Os ácidos húmicos possuem, em sua estrutura, subunidades que se assemelham as auxinas, estimulando o desenvolvimento das raízes, que resulta em maior absorção de nutrientes.

Os objetivos específicos desse trabalho são formular e avaliar a eficiência de fertilizantes a base de ácidos húmicos e cloreto de potássio comparativamente ao cloreto de potássio comercial, no desenvolvimento vegetativo da cultura do milho. Para tanto, os objetivos gerais são: calibrar doses de K_2O em casa de vegetação para a cultura em estudo; avaliar o efeito de doses e das épocas de aplicação de K_2O sobre o desenvolvimento vegetativo do milho, assim como o acúmulo de nutrientes até a fase fenológica VT; Avaliar o efeito do aumento da concentração de ácidos húmicos nos fertilizantes granulados sobre o desenvolvimento vegetativo e nutrição do milho, e também sobre parâmetros da fertilidade do solo em comparação ao cloreto de potássio comercial.

Para tal, o presente trabalho está organizado em dois capítulos. No capítulo 1, intitulado “Calibração de doses de K_2O para ensaios em casa de vegetação” é realizado um estudo sobre épocas de aplicação, assim como o efeito de doses crescentes de K_2O na forma de cloreto de potássio sobre parâmetros relacionados ao desenvolvimento do milho até o estágio fenológico VT e alguns atributos do solo em diferentes profundidades.

No Capítulo 2, intitulado “Teste de desempenho de cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos” são apresentados estudos acerca da produção de fertilizantes, assim como o teste de desempenho agrônomico dos mesmos. Esse estudo foi planejado de acordo com as respostas para dose e época de aplicação definidos no primeiro capítulo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do Potássio para as Plantas

O potássio (K) se encontra no grupo dos dez elementos mais abundantes da crosta terrestre, sendo essencial para todos os organismos vivos. Este elemento atua na ativação de mais de 60 enzimas que participam de vários processos metabólicos, como fotossíntese e síntese de proteínas e carboidratos. O potássio também possui influência direta no balanço hídrico e crescimento de meristemas (Van Straaten, 2007). Não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, encontrando-se predominantemente como cátion livre ou como cátion adsorvido e pode ser facilmente deslocado das células ou dos tecidos vegetais (Meurer, 2006).

Plantas deficientes em potássio apresentam menor turgor da célula, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos ocorrem de forma irregular. Outro efeito atribuído ao potássio é que plantas bem nutridas por este elemento apresentam maior tolerância a secas e geadas, em razão da maior retenção de água (Mengel e Kirkby, 1978; Malavolta et al., 1997).

Vegetais nutridos adequadamente com potássio apresentam maior síntese de material para a formação da parede celular. Frequentemente, as paredes são mais espessas devido a maior deposição de celulose e compostos relativos, promovendo maior estabilidade e um aumento da resistência das plantas ao acamamento e as infestações de doenças e pragas (Pretty, 1982).

2.2 Potássio no Solo

A capacidade dos solos em suprir potássio para as plantas varia em função dos compartimentos em que esse nutriente se encontra, da quantidade e do grau de disponibilidade de cada compartimento (Mielniczuk, 1982a). A maioria dos solos apresenta concentrações significativas de potássio, mas apenas uma pequena quantidade (2%) se encontra como potássio trocável (Nascimento et al., 2008). O potássio trocável refere-se ao elemento prontamente disponível para as plantas, pois está fracamente ligado as cargas negativas nas superfícies orgânicas e inorgânicas do solo (Yamada e Roberts, 2005). O K^+ também pode estar na solução do solo, ou seja, dissolvido na água do solo e disponível para as plantas.

O potássio também pode ser encontrado no solo como potássio não trocável que é aquele retido na estrutura de minerais primários e secundários, tais como os feldspatos potássicos e as micas, fixado, que se encontra neutralizando as cargas negativas no interior das entrecamadas dos argilo-minerais expansivos, como a vermiculita e a esmectita (minerais do tipo 2:1). A somatória dessas formas (trocável e não trocável) é representada pelo potássio total do solo (Novais et al., 2007).

Para a determinação da quantidade de potássio imediatamente disponível para as culturas, bem como o seu destino quando aplicado via fertilizante, se faz necessário conhecer o fator quantidade (K-trocável), fator intensidade (K-solução) a relação entre ambos, e o poder tampão de potássio (PTK) que é a capacidade de reposição do potássio extraído da solução do solo pela forma trocável (Mielniczuk, 1982b).

O potássio aplicado ao solo via adubação, assim como aquele disponibilizado pelos restos culturais pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo. A intensidade deste processo varia de acordo com a textura do solo, quantidade de chuva, da dose de fertilizante

aplicada, entre outros fatores, devendo se tomar os devidos cuidados na adubação potássica para evitar prejuízos econômicos e ambientais (Rosolem et al., 2006).

Os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ possuem diferentes energias de ligação nos colóides do solo. Eles seguem a série liotrópica, que considera a carga e o tamanho do íon hidratado, sendo o potássio o quinto elemento desta série (Yamada e Roberts, 2005). Desta forma, a energia de ligação do K aos colóides do solo é pequena e, em solos com baixa CTC e bem drenados, a lixiviação se intensifica (Raij, 2011).

2.3 Cloreto de Potássio e Tecnologias Agregadas a Fertilizantes Potássicos

No contexto mundial, o Brasil situa-se como um grande importador de potássio fertilizante. No ano de 2014 o país importou um total de $5,43 \times 10^6$ Mg de K_2O equivalente, com um custo de importação de US\$ $2,9 \times 10^9$. Essa quantidade de fertilizante correspondeu a 95% do potássio consumido no mesmo ano (DNPM, 2015).

A produção brasileira de potássio fertilizante é restrita ao complexo mina/usina Taquari-Vassouras, localizada no estado de Sergipe. No ano de 2014 a produção foi de $3,1 \times 10^5$ Mg de K_2O equivalente, ficando muito aquém da demanda nacional. As reservas brasileiras de potássio são constituídas de silvinita ($\text{KCl} + \text{NaCl}$), que possui um teor médio de 9,3% de K_2O equivalente (DNPM, 2015).

Um dos inconvenientes do uso de cloreto de potássio na agricultura é o seu elevado índice salino (1,93 por unidade de K). Esse índice caracteriza a capacidade do fertilizante de aumentar a pressão osmótica da solução do solo e tem correlação com a condutividade elétrica. O índice salino de um adubo varia de acordo com sua solubilidade e sua natureza química (Osaki, 1991).

Por aumentar a concentração eletrolítica da solução do solo nos locais fertilizados e suas proximidades, o cloreto de potássio pode diminuir a germinação e prejudicar o desenvolvimento inicial de raízes. A concentração elevada de sais aumenta a pressão osmótica externa às células, o que dificulta a absorção de água pelas sementes e radículas (Marscher, 1997).

Avaliando o efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho em solos com texturas variadas, Sangoi et al. (2009) concluíram que o efeito deste fertilizante sobre o estabelecimento da cultura é dependente da granulometria do solo. Solos com textura mais grosseira são propensos a sofrer maior variação da condutividade elétrica devido ao seu menor efeito tamponante. Nesses solos, deve-se tomar maior cuidado com a aplicação de altas doses de KCl, pois o efeito negativo deste fertilizante sobre as sementes e plântulas de milho é maior.

O parcelamento da aplicação de KCl é indicada dependendo da dose e da granulometria do solo (Neves et al., 2009). De forma geral, é indicado o parcelamento da aplicação de doses superiores a 80 kg ha^{-1} , principalmente em solos de textura mais grosseira e com baixa CTC (Foloni & Rosolem, 2008). O intuito é melhorar a eficiência no uso do nutriente, diminuir as perdas por lixiviação e minimizar o estresse às sementes na linha de semeadura (Bernard et al., 2009).

Avaliando o efeito de doses e épocas de aplicação de potássio em um Latossolo Amarelo sobre a cultura do milho, Petter et al. (2016) constataram maior eficiência agrônômica no uso do nutriente quando a aplicação foi realizada de forma parcelada, destacando a aplicação de 50% no momento da semeadura e o restante em cobertura após 30 dias.

Entre as principais fontes de potássio utilizadas na prática de adubação estão o cloreto de potássio (KCl), nitrato de potássio (KNO_3), sulfato de potássio (K_2SO_4) e o sulfato duplo de potássio e magnésio ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$). Dentre todas as fontes, o cloreto de potássio (KCl) é

a mais utilizada na agricultura (Bevilaqua et al., 1996) por possuir uma alta concentração de K_2O (58%) em sua composição. Mas pelo fato de liberar grande quantidade de cloretos e por possuir elevado índice salino, pode se tornar prejudicial ao desenvolvimento radicular e consequentemente reduzir a absorção de água e nutrientes (Marschner, 1997).

A maior eficiência do fertilizante potássico é buscada por meio do manejo na aplicação e de tecnologias agregadas ao produto final. Pelo fato dos sais potássicos utilizados como fertilizante apresentarem elevada solubilidade em água, os fertilizantes de liberação controlada vêm ganhando grande enfoque. Vieira e Teixeira (2004) mencionam que fertilizantes revestidos por polímeros são mais eficientes quando comparados com fertilizantes convencionais, pois fertilizantes com polímeros conferem menor perda de nutrientes por lixiviação. Zeólitas preenchidas com K também podem servir como um tipo de fertilizante de liberação lenta (FLL). Willians e Nelson (1997) observaram no cultivo de crisântemo, que quando se utilizou zeólita enriquecida com potássio, as plantas apresentaram maiores teores desse nutriente em relação às plantas que receberam fertilizantes na forma solúvel. Entretanto, as pesquisas que buscam aumentar a eficiência no uso desse nutriente, são focadas apenas no estudo de modos de aplicação, não avaliando fontes alternativas ou tecnologias que modifiquem a solubilidade do KCl (Leal et al., 2015).

Recentemente, as novas tecnologias vêm buscando uma liberação gradual do nutriente, de forma que seja disponibilizado de acordo com a marcha de absorção da cultura (Leal, 2015).

2.4 As Substâncias Húmicas

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por componentes vivos (raízes de plantas e pelos macro, meso e microrganismos que habitam o solo) e pelos componentes não vivos (resíduos vegetais em decomposição, as substâncias humificadas e as não humificadas) (Stevenson, 1994). Segundo o mesmo autor as substâncias húmicas podem ser definidas como: “série de polímeros amorfos de coloração amarela, marrom a preta, de peso molecular relativamente alto e formado por reações de síntese secundária, bióticas e abióticas, usualmente classificados em relação a sua solubilidade em álcali e ácidos”.

De acordo com Stevenson (1994) as substâncias húmicas são classificadas em: (i) humina: fração insolúvel em álcali e em ácido; (ii) ácidos húmicos: fração de coloração escura extraída geralmente em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído; e (iii) ácidos fúlvicos: material castanho claro que permanece em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação.

As substâncias húmicas são formadas aleatoriamente a partir da decomposição de materiais orgânicos, e são de fundamental importância para o crescimento de plantas e para o controle bioquímico do carbono orgânico no ecossistema global (Sanches, 2007). Essas substâncias têm capacidade de interagir com argilas e alterar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, exercendo papel importante na estrutura e fertilidade do solo, além de imobilizar metais pesados e pesticidas, atuando como fator de crescimento para brotos e raízes (Bayer e Mielniczuk, 1999).

O processo de formação dessas substâncias é denominado humificação. Existem algumas teorias que explicam esse processo e, dentre elas estão à teoria clássica onde se acredita que as substâncias húmicas são formadas a partir da lignina modificada e a teoria da rota dos polifenóis que considera a formação de tais substâncias a partir da condensação de polifenóis e compostos aminados. A segunda teoria é a mais aceita na atualidade (Silva e Mendonça, 2007).

Nos solos, as substâncias húmicas são encontradas nas seguintes formas: (i) como agregados macromoleculares insolúveis; (ii) como macromoléculas ligadas entre si por meio

de pontes de cátions di e trivalentes; (iii) associadas aos minerais por meio de pontes catiônicas, pontes de hidrogênio e reações de troca de ligantes, e (iv) oclusas nas entrecamadas de argilominerais expansivos (Stevenson, 1994).

A composição elementar das substâncias húmicas, bem como suas propriedades físico-químicas, pode variar de acordo com a fonte de matéria orgânica, bem como com as condições ambientais do local de formação. A vegetação, o clima e o tipo de ambiente exercem forte influência no processo de humificação, determinando de certa forma as características das substâncias húmicas. Sua composição química varia, mas geralmente, se encontra em torno de: (i) ácido húmico: 50-60% de C; 30-35% de O; 4-6% de H; 2-4% de N e 0-2% de S; (ii) humina: possui composição química similar a dos ácidos húmicos; (iii) ácido fúlvico: 40-50% de C; 1-3% de N e 44-50% de O (Schnitzer e Khan, 1972).

Devido a sua estrutura, as SH possuem quatro propriedades que lhes conferem grande importância: possuem grande número de grupos funcionais, o que lhes proporcionam amplo espectro de reatividade; a carga macromolecular destas substâncias é negativa, permitindo maior reatividade com outras moléculas; são altamente hidrofílicas, formando fortes pontes de hidrogênio com a água; possuem a capacidade de associação com outras moléculas e de mudança na conformação molecular em função da mudança de pH, dos valores redox, da concentração eletrolítica e da ligação com grupos funcionais (Sposito, 2004).

Estudando a relação das substâncias húmicas com atributos edáficos, Ebeling et al. (2011) concluíram que a fração humina predominou em todos os perfis estudados, o que indica a resistência dessa fração à decomposição microbiana e a elevada interação dessa fração com a porção mineral do solo. Os autores também chegaram à conclusão que o comportamento das frações da matéria orgânica do solo é alterado em função do ambiente de formação, material de origem, clima e composição granulométrica interferindo diretamente em sua gênese.

2.5 Importância das Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas possuem um importante papel na conservação do meio ambiente graças as suas propriedades físico-químicas. Nos solos, sedimentos e turfas, elas possibilitam uma maior retenção de calor, contribuindo de maneira positiva na germinação de sementes e no desenvolvimento de raízes. Essas substâncias possuem também uma alta capacidade de retenção de água (até vinte vezes a sua massa), que implica num menor escoamento superficial de água, contribuindo na conservação do solo contra a erosão (Barros et al., 1994).

Estas substâncias também têm a capacidade de cimentar as partículas do solo em agregados, o que promove maior aeração e permeabilidade. Além disso, interagem com íons metálicos para formar complexos de diferentes estabilidades e características estruturais (Kordel et al., 1997).

É relatado na literatura que as substâncias húmicas são capazes de disponibilizar o fósforo adsorvido na fração argila, aumentar a superfície específica, a CTC e o efeito tampão e atuar como reservatório de N, P, S e micronutrientes. Sendo assim, exercem interferência direta na produtividade e qualidade dos cultivos e contribuem para a sustentabilidade de ecossistemas terrestres (Moreira e Siqueira, 2006).

Em solos salinos, as substâncias húmicas também atuam de maneira positiva sobre a fertilidade do solo. A aplicação de ácido húmico em uma condição de salinidade moderada em plântulas da cultivar Demre de pimenta, resultou em maior crescimento radicular, avaliado pelo peso fresco e seco da raiz (Çimrim et al., 2010).

Nannipieri et al. (1993), estudando o efeito das substâncias húmicas sobre o metabolismo das plantas observaram: (i) influência positiva sobre o transporte de íons

facilitando a absorção; (ii) aumento da taxa respiratória e da velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, resultando em maior produção de ATP; (iii) aumento no conteúdo de clorofila; (iv) aumento na velocidade de síntese de ácidos nucléicos; (v) efeito seletivo sobre a síntese proteica e (vi) estímulo ou inibição da atividade de diversas enzimas. Porém, os mecanismos envolvidos nessas respostas não foram elucidados.

Avaliando o uso de mistura húmica líquida com ácidos húmicos em conjunto com adubos minerais sobre a produtividade da batata, Verlinden et al. (2009) constataram ganho na produtividade entre 13 e 17 % quando estes corretivos foram aplicados. Também houve maior absorção de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio pela cultura.

Outro benefício das substâncias húmicas sobre o desenvolvimento dos vegetais pode ser proporcionado pela sua interação com enzimas localizadas na membrana plasmática, atuando de forma semelhante aos hormônios vegetais, em especial a auxina que pode ter sua síntese estimulada pelos ácidos húmicos (Trevisan et al., 2010). Também pode ocorrer a formação de complexos com micronutrientes, aumentando sua solubilidade (Canellas et al., 2005).

2.6 Os Ácidos Húmicos

O fracionamento químico da matéria orgânica se baseia na solubilidade das substâncias húmicas e é descrito detalhadamente pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS, 2014). Ao se reduzir o pH do extrato alcalino com HCl, ocorre a precipitação da fração de massa molecular aparentemente maior, denominada de ácidos húmicos. Usualmente, são definidos como substâncias de coloração escura, compostas por macromoléculas de massa molecular de relativamente elevada, formadas a partir de resíduos orgânicos de plantas, animais e microrganismos. Possuem capacidade de troca de cátions entre 350 e 500 meq 100 g⁻¹, alto teor de ácidos carboxílicos e significativas quantias de nitrogênio (Steverson, 1994).

É relatado que, além de fornecer nutrientes para as plantas através da mineralização, os ácidos húmicos podem estimular o desenvolvimento das plantas. Essas moléculas exercem influência positiva sobre o transporte de íons, facilitando a absorção, aumentam a velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs resultando em maior produção de ATP, aumentam o conteúdo de clorofila, aumentam a velocidade e síntese de ácidos nucléicos, aumentam ou inibem a atividade de enzimas (Nannipieriet al., 1993).

O crescimento e o número de raízes finas (raízes laterais com menos de 0,8 mm de diâmetro) são estimulados pela ação de ácidos húmicos. Essas raízes constituem os principais sítios de absorção de água e nutrientes do sistema radicular. Tal alteração morfológica proporciona uma maior absorção de nutrientes, o que confere maior capacidade de produção de biomassa em condições de baixa disponibilidade de nutrientes do meio (Pinton et al., 1999; Canellas et al., 2002;).

É constatado na literatura que os ácidos húmicos estimulam, tanto a atividade, quanto a síntese da H⁺-ATPase da membrana plasmática (Canellas et al., 2002). A hipótese mais aceita para explicar tal estímulo é a presença de subunidades estruturais dos AH são capazes de acessar receptores na superfície ou no interior da membrana plasmática das células das raízes, além da presença de auxina (AIA) na estrutura dos ácidos húmicos (Façanha et al., 2002).

2.7 A Cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) possui elevada importância econômica e social, sendo utilizado desde a alimentação animal até como matéria-prima para a indústria. É uma das principais culturas cultivadas no mundo, fornecendo uma gama de produtos utilizados pelo homem (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

Na safra brasileira de 2016/17, a primeira e segunda safra somaram uma área de 17,59 milhões de hectares cultivados com milho, atingindo uma produção de 97,82 milhões de toneladas do grão e uma produtividade média de 5,56 t ha⁻¹, o equivalente a 111,2 sacas de 50 kg por hectare (Conab, 2017).

Tendo em vista a vasta área cultivada pela cultura, se faz de fundamental importância o estabelecimento de um manejo adequado do uso do solo e da água. Para tal, uma série de fatores deve ser atendida, sendo os principais: obter rentabilidade econômica no cultivo; produzir em quantidade e qualidade suficientes para atender a demanda da sociedade e zelar pela manutenção dos recursos naturais (Viana et al., 2008).

O manejo inadequado da fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade, tanto de áreas destinadas para milho silagem como aquelas destinadas para a produção do grão de milho. Não se devem atribuir a isto apenas os teores de nutrientes no solo, mas também a aplicação inadequada de calcários e fertilizantes, e pela elevada quantidade de nutrientes extraídos pelo milho colhido para a produção de silagem (Coelho e França, 1995). Na colheita do milho silagem, além dos grãos, a parte aérea também é removida, havendo elevada extração e exportação de nutrientes, sendo o potássio o elemento exportado em maiores quantidades (Nussio, 1995).

Os nutrientes possuem diferentes taxas de translocação entre os tecidos, sendo que a maioria do fósforo absorvido é translocado para o grão (77 a 86 %) seguido pelo nitrogênio (70 – 77%). Já o potássio e o cálcio permanecem em maior proporção na palhada (57 a 74% e 93 a 97% respectivamente). Sendo assim, a incorporação dos restos culturais da cultura restitui grande quantidade de nutrientes ao sistema. Porém quando o milho é destinado à silagem a quantidade de nutrientes exportada, na ocasião da colheita, é muito maior, podendo haver problemas na fertilidade do solo de maneira mais precoce, principalmente na disponibilidade de nutrientes como K, Ca e Mg (Coelho, 2008).

A absorção de potássio pela cultura do milho apresenta um padrão diferenciado em relação aos demais macronutrientes. Ao florescer, cerca de 92% do total de potássio requerido já foi absorvido, sendo que nos primeiros 30 a 40 dias a taxa de acúmulo é superior à de nitrogênio e fósforo. Por esse motivo, o potássio é considerado como elemento de “arranque” para a cultura do milho (Karlen et al., 1987).

3 CAPÍTULO I

CALIBRAÇÃO DE DOSES DE K_2O PARA ENSAIOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

3.1 RESUMO

O fertilizante potássico mais utilizado na agricultura brasileira é o cloreto de potássio e sua aplicação em doses elevadas pode ser prejudicial ao desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) devido ao elevado índice salino desse fertilizante. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio, assim como seu parcelamento sobre o desenvolvimento do milho até o estágio fenológico VT, visando estabelecer um critério para a determinação de doses de fertilizantes em casa de vegetação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, em tubos de PVC com dimensões de 20 cm de diâmetro e 40 cm de altura, preenchidos de solo de textura arenosa. Na primeira etapa do ensaio, foram avaliadas a emergência das plântulas e a condutividade elétrica do solo em resposta à aplicação dos tratamentos. A partir do fim da fase de emergência, foram realizadas avaliações quinzenais de altura e índice Falker[®] de clorofila e da altura de inserção da última folha expandida. Ao atingir a fase fenológica VT as plantas foram coletadas para a determinação de massa seca e teor de nutrientes da parte aérea, coletando também as raízes e amostras de solo em profundidades distintas. As diferentes doses e épocas de aplicação não interferiram na emergência e nem na altura das plantas de milho. A produção de massa seca da parte aérea aumentou linearmente com o aumento da dose, porém o acúmulo de potássio da parte aérea aumentou de maneira muito mais pronunciada. De maneira geral, as doses e épocas de aplicação do fertilizante exerceram pouca influência sobre o desenvolvimento da cultura do milho até o estágio VT.

Palavras-chave: Cloreto de potássio. *Zea mays* L. Adubação.

3.2 ABSTRACT

The potassium fertilizer most used in Brazilian agriculture is potassium chloride and its application in high doses may be detrimental to the development of maize (*Zea mays* L.) crop due to the high salt content of this fertilizer. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of increasing doses of potassium chloride, as well as its splitting on the development of the maize to the VT phenological stage, aiming to establish a criterion for the determination of fertilizer doses in a greenhouse. The experiment was conducted in a greenhouse of the Department of Soils of UFRRJ, in PVC pipes with dimensions of 20 cm in diameter and 40 cm in height, filled with soil of sandy texture. In the first stage of the trial, seedling emergence and soil electrical conductivity were evaluated in response to treatments. From the end of the emergency phase, bi-weekly evaluations of Falker® chlorophyll index and height of insertion of the last expanded leaf were carried out. Upon reaching the phenological stage VT the plants were collected for the determination of dry mass and nutrient content of the aerial part, also collecting the roots and soil samples at different depths. The different doses and application times did not interfere in the emergence or the height of the corn plants. Aerial dry mass production increased linearly with increasing dose, but the potassium accumulation of aerial part increased in a much more pronounced way. In general, fertilizer doses and application times exerted little influence on the development of the corn crop until the VT stage.

Key words: Potassium chloride. *Zea mays* L. Fertilizing.

3.3 INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna são utilizados híbridos de alto potencial produtivo, de ciclo precoce, com alto índice de colheita e que permitem a adoção de maior densidade de semeadura. Para se atingir o máximo potencial produtivo de tais híbridos se faz necessário o uso intensivo de insumos agrícolas, dentre eles os fertilizantes.

O fertilizante potássico mais utilizado na agricultura brasileira é o cloreto de potássio que tem como grande inconveniente possuir elevado índice salino, sendo capaz de prejudicar a germinação de sementes. Como atualmente as doses de K_2O recomendadas para a cultura do milho são geralmente elevadas, se faz necessário adotar práticas que minimizem os efeitos negativos desse fertilizante sobre a cultura.

Além de interferir na emergência de sementes, o cloreto de potássio também pode afetar negativamente o desenvolvimento de raízes que reflete em menores produtividades. Essa interferência é resultado da dose de fertilizante aplicada, composição mineralógica, textura, CTC, teores de matéria orgânica e umidade do solo.

O cátion potássio possui elevada mobilidade no solo, principalmente nos de textura arenosa. Por possuir elevada solubilidade, o cloreto de potássio pode intensificar as perdas deste elemento por lixiviação, principalmente em solos de textura arenosa, com baixa CTC e com baixos teores de matéria orgânica.

A aplicação de cloreto de potássio abaixo e ao lado da linha de semeadura vem sendo indicada por facilitar o contato do íon com as raízes. Porém não se recomenda aplicar doses maiores que 80 kg ha^{-1} totalmente no plantio, pois pode haver prejuízo na germinação das sementes. Em caso de recomendações de doses maiores deve-se parcelar a aplicação.

Com o intuito de diminuir as fontes de variação externas, são realizados ensaios em casa de vegetação para se avaliar os efeitos da aplicação de cloreto de potássio sobre as mais variadas culturas. Porém, para isso se faz necessário realizar a calibração das doses aplicadas.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de cloreto de potássio, assim como seu parcelamento sobre o desenvolvimento até o estágio fenológico VT da cultura do milho a fim de estabelecer parâmetros para a realização de ensaios com fertilizantes potássicos em casa de vegetação.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, campus de Seropédica – RJ, que está situada a 22°45' de latitude sul e 43°41' de longitude oeste e altitude de 33 metros.

Foi utilizada no experimento uma amostra de solo classificado como Planossolo Háplico, de textura arenosa, coletada no setor de Olericultura da própria Universidade, na camada de 0-20 cm de profundidade. A amostra foi seca ao ar em casa de vegetação e peneirada em peneira de malha de 4 mm. O solo foi posteriormente incubado com calcário dolomítico com PRNT de 80%, seguindo metodologia proposta por Stafanato (2009), havendo estabilização do pH em água no valor de 6,0. Após a estabilização do pH, uma amostra composta de terra foi enviada ao laboratório para a caracterização química do solo (Tabela 1). As unidades experimentais consistiram em tubos de PVC de 20 cm de diâmetro, e 40 cm de altura, seccionados transversalmente a cada 10 cm. Os cortes foram vedados com fita adesiva. Os tubos foram alocados sobre pratos plásticos e preenchidos com solo até a altura de 40 cm.

Tabela 1. Resultado da análise química de terra após a incubação.

C Tot. g/dm ³	pH	P --mg/dm ³ --	K 89	Ca 3,4	Mg 1,1	H+Al 1,4	Al 0	S 4,73	T 6,13	V %
Micronutrientes										
B 0,42		Cu 1,2		Fe 47		Mn 8,8		Zn 3,1		

pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; P: fósforo extraído por resina.

O experimento foi implantado em delineamento em blocos casualizados, num esquema fatorial 2 x 8 + 1, com três repetições, sendo oito doses de cloreto de potássio (209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg de KCl tubo⁻¹), duas épocas de aplicação (dose total no momento do plantio; e 50% da dose no momento do plantio e o restante 30 dias após) e um tratamento adicional que não recebeu adubação potássica, perfazendo um total de 17 tratamentos (Tabela 2) e 51 unidades experimentais. Como fertilizante potássico, foi utilizado o cloreto de potássio comercial. Foi cultivado o híbrido de milho AG1051 como planta indicadora. Quanto à forma de aplicação, os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo em área total.

Tabela 2. Detalhe dos tratamentos aplicados no experimento.

Época de aplicação	Quantidade de KCl aplicada (mg tubo ⁻¹)
---	0
Total no plantio	209
Total no plantio	419
Total no plantio	628
Total no plantio	837
Total no plantio	1.046
Total no plantio	1.256

Continua...

Continuação da **Tabela 2.**

Época de aplicação	Quantidade de KCl aplicada (mg tubo ⁻¹)
Total no plantio	1.675
Total no plantio	2.093
Parcelada	104,5 + 104,5
Parcelada	209,5 + 209,5
Parcelada	314 + 314
Parcelada	418,5 + 418,5
Parcelada	523 + 523
Parcelada	628 + 628
Parcelada	837,5 + 837,5
Parcelada	1046,5 + 1046,5

Antes do plantio, cada unidade experimental recebeu uma adubação com 1,60 g de ureia e 1,36 g de superfosfato triplo, equivalente a 200 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, quantidades essas extraídas pela cultura numa produtividade de 17,13 t/ha de matéria seca de silagem (Coelho e França, 1995). Os fertilizantes foram pesados em balança de precisão, e homogeneizados ao solo de cada unidade experimental separadamente através do uso de betoneira.

Após a adubação com N e P, foram semeadas 20 sementes de milho por unidade experimental, a uma profundidade de 3 cm. A semeadura foi realizada em 27 de julho de 2017. Logo após a semeadura, os vasos receberam quantidade de água suficiente para elevar a umidade a 70% da capacidade de campo. Em seguida, foi aplicado o cloreto de potássio em superfície e em área total, de acordo com os tratamentos. A partir daí, foram realizadas determinações diárias da condutividade elétrica e contagem das plântulas emergidas até o final da fase de emergência. Nesse momento, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por unidade experimental (Figura 1). Também foi realizada diariamente a determinação da umidade em 10% das unidades experimentais, por meio de pesagens das mesmas. A quantidade de água adicionada foi igual à diferença entre o peso das unidades experimentais a 70% da capacidade de campo e a média das pesagens diárias.

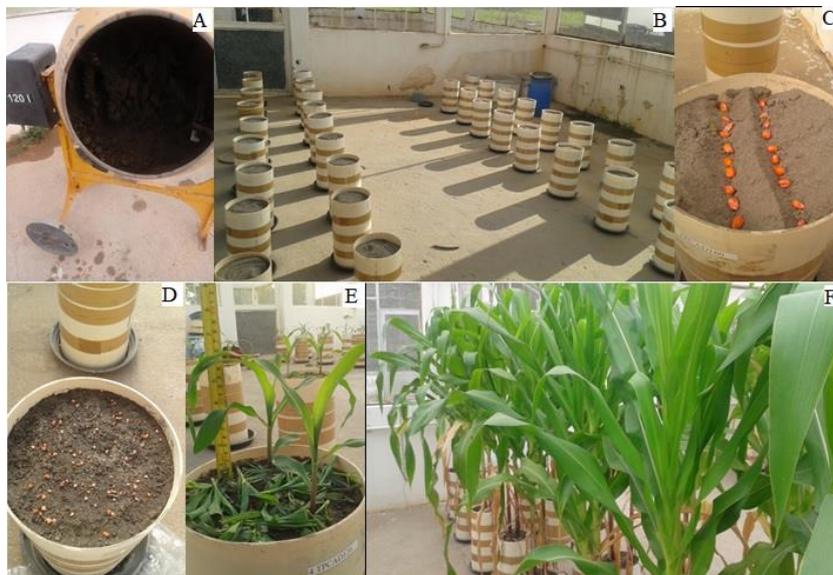


Figura 1. Vista da montagem do experimento com a incubação do solo com calcário (A) que após a incubação foi acomodado nos tubos (B) para posterior semeadura (C) e na

seqüência a aplicação de água e dos fertilizantes (D) de onde se seguiu com a condução do experimento realizando o desbaste (E) e o cultivo das plantas (F).

Os valores de temperatura e umidade, na casa de vegetação, foram monitorados por meio de termo-higrometro digital. O registro das temperaturas e umidades máxima, média e mínima podem ser visualizados na Figura 2.

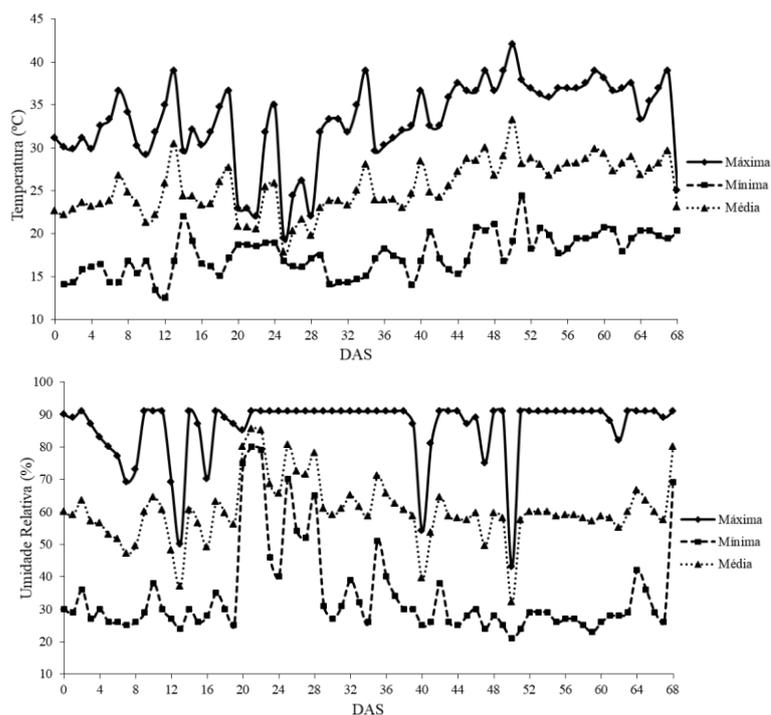


Figura 2. Temperatura e umidade relativa médias, máximas e mínimas no interior da casa de vegetação durante o cultivo do milho.

As leituras de condutividade elétrica do solo foram realizadas em três pontos aleatórios das unidades experimentais em uma profundidade de aproximadamente 4 cm, com o uso do condutivímetro Hanna HI 993310, equipado com eletrodo realizando medições diretamente no solo. Com antecedência de 30 minutos das leituras, as unidades experimentais receberam 100 mL de água, pois, as leituras realizadas pelo equipamento são influenciadas pela umidade do solo.

Foram feitas avaliações quinzenais do índice de clorofila Falker® e altura de inserção da última folha expandida. O índice de clorofila Falker® foi determinado com o clorofilog Falker CFL 1030. Foram realizadas 3 leituras no terço médio da última folha expandida de cada planta, adotando como valor a média das leituras de cada unidade experimental. Já a altura de inserção da última folha expandida foi obtida com o auxílio de trena graduada.

Semanalmente foi aplicada uma solução com extratos vegetais ativos, a base de Nim (*Azadiractha indica* A. Juss), Kajarana (*Pongamia glabra*), Pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*), Artemísia (*Artemisia absinthium*) Alho (*Allium sativum*) e Anatto (*Bixa orellana*) a fim de repelir possíveis insetos pragas. Periodicamente foi realizado o arranquio manual das plantas concorrentes das unidades experimentais.

O experimento foi conduzido por 68 dias após a semeadura, quando o número de plantas em estágio VT (empendoadas) era de 50%. Ao término desse período as folhas, os colmos e as raízes foram coletados separadamente, alocados em saco de papel e transferidos para estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65° C até atingirem peso

constante. Após essa etapa, foi determinada a produção de matéria seca através do uso de balança de precisão.

Após a pesagem, as amostras de folha e colmo foram moídas em moinho tipo wiley e armazenadas em sacos de papel. Posteriormente foi feita a digestão dos tecidos para a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio. Para tal, foi adotada a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Multiplicando o teor do nutriente (g kg^{-1}), encontrado em cada amostra, pela respectiva matéria seca, obteve-se o acúmulo do nutriente em cada tecido dentro de cada unidade experimental.

Na ocasião da coleta da parte aérea, também foi coletada uma amostra de solo a cada 10 cm de profundidade de cada unidade experimental. Foi realizada então a determinação do pH de cada amostra, assim como do K disponível, segundo o Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira et al., 2017).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, no caso da variável quantitativa, foi realizada análise de regressão, tomando como variável independente as doses crescentes de K_2O e assumindo o controle como dose zero. No caso das variáveis qualitativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com significância de 5%. Para as análises estatísticas foi utilizado o aplicativo computacional Sisvar[®] 5.6 (Ferreira, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Avaliação da emergência

A Figura 3 apresenta a média da condutividade elétrica durante a germinação das sementes. Observa-se uma elevação significativa na condutividade elétrica do solo já no primeiro dia após a aplicação dos tratamentos. A aplicação total do fertilizante no momento do plantio proporcionou maiores valores de condutividade elétrica no sexto e sétimo dias após a aplicação dos fertilizantes em comparação a aplicação realizada de maneira parcelada.

A elevada concentração de sais próxima das sementes é um fator de estresse, pois diminui o potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água. Há, portanto, uma relação inversamente proporcional entre a concentração de sais em solução e a disponibilidade de água para as plantas (Ribeiro et al., 2001). Porém os efeitos desse estresse são mais pronunciados em condições de baixa umidade do solo, que não foi o caso do presente trabalho.

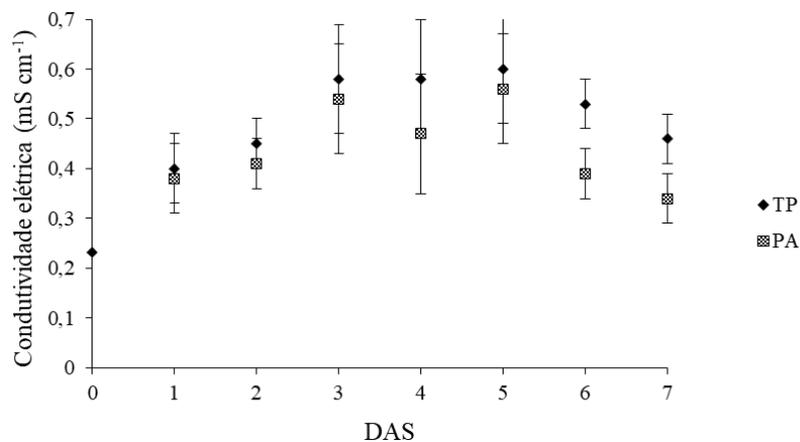


Figura 3. Condutividade elétrica do solo durante os primeiros sete dias após a sementeira (DAS) em resposta a diferentes épocas de aplicação (TP – Aplicação total no plantio; PA – Aplicação parcelada). As barras verticais representam a diferença mínima de significância para cada dia.

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise da variância do número de plântulas emergidas diariamente durante o período de avaliação. Observa-se que houve diferença estatística entre os tratamentos no quinto e no sexto dia após a sementeira. No quinto dia foi constatada a interferência da época de aplicação e da dose de K_2O sobre o número de plântulas emergidas. Já no sexto dia houve interferência somente da dose.

Tabela 3. Resumo da análise de variância do número de plântulas emergidas no 4º, 5º, 6º e 7º dia após a semeadura de sementes de milho em resposta a aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas e doses.

FV	GL	Quadrado médio			
		Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
Época de aplicação (EA)	1	25,52ns	533,33*	52,08ns	22,00ns
Dose (D)	7	197,62ns	523,43*	305,28*	120,52ns
EA x D	7	381,17ns	171,73ns	180,65ns	43,43ns
Resíduo	30	9508,07ns	127,75ns	121,80ns	114,96ns
CV (%)		25,78	17,53	13,39	12,29

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Analisando a Figura 4, que mostra o número de plântulas emergidas durante o período de avaliação, observa-se que com o aumento da dose houve diminuição linear do número de plântulas emergidas no quinto dia após a semeadura. Já no sexto dia, a regressão não foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade.

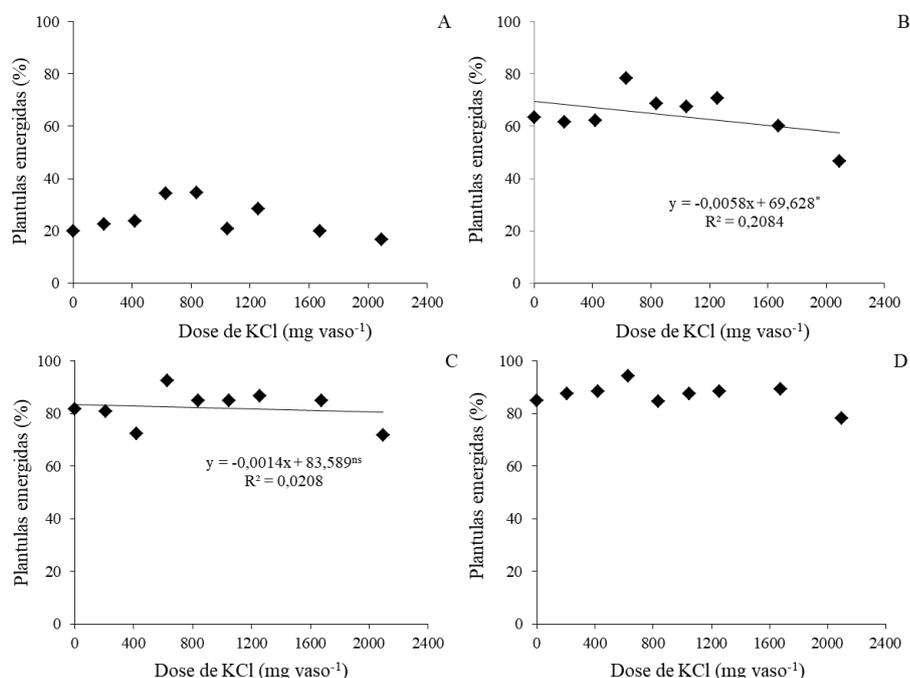


Figura 4. Número de plântulas emergidas no quarto (A), quinto (B), sexto (C) e sétimo (D) dia após a semeadura de sementes de milho em resposta a diferentes doses de cloreto de potássio (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

O percentual de plântulas emergidas em decorrência da época de aplicação do fertilizante é expresso pela Figura 5. A aplicação do fertilizante de forma parcelada proporcionou maior porcentagem de plântulas emergidas, quando comparada à aplicação total no plantio, no quinto dia após a semeadura.

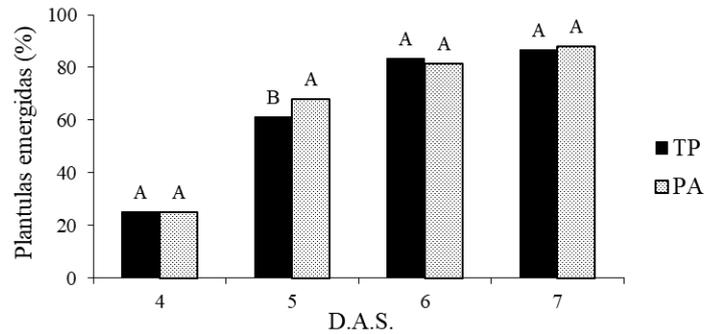


Figura 5. Percentual de plântulas emergidas em decorrência da época de aplicação de KCl, total no plantio (TP) e parcelada (PA) do quarto ao sétimo dia após a semeadura (D.A.S.). Médias diárias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

O efeito prejudicial do KCl sobre a germinação e emergência de sementes de milho depende de uma série de fatores, dentre eles a textura e CTC do solo, distância que o fertilizante é colocado em relação às sementes, regime hídrico, qualidade da semente e da dose aplicada. Não foi constatado dano significativo no total de plântulas de milhos emergidas no presente trabalho. Muito provavelmente isso se deu pelo fato de ter-se mantido a umidade do solo numa faixa adequada (entre 50 a 70% da capacidade de campo, aproximadamente) durante esta fase. Com isso, a absorção de água pelas sementes e radículas não foi prejudicada, mesmo havendo variação na concentração salina.

Avaliando o efeito de doses de KCl sobre a germinação de sementes de milho a campo, Neves (2007) não constatou prejuízos numa variação de 0 a 200 kg ha⁻¹ de KCl aplicado totalmente no plantio em um Cambissolo Húmico alumínico típico, com 810 g kg⁻¹ de areia e 95 g kg⁻¹ de argila. Já Bevilaqua et al. (1996) e Ouyang et al. (1998) observaram o efeito negativo de doses médias e altas sobre a germinação.

Em estudo sobre a interferência do estresse salino sobre a germinação de sementes e vigor de plântulas de milho, Conus et al. (2009) observaram que não houve diminuição no número de sementes germinadas quando submetidas a estresse salino. Também foi constatado em tal estudo que a diminuição do potencial osmótico de uma solução de KCl na ordem de 0,0 a -1,6 MPa causou decréscimo no comprimento da parte aérea de plantas de milho, coletadas aos 20 DAS.

3.5.2 Índice de clorofila Falker®

A Tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância do índice de clorofila Falker durante a condução do experimento. Não foi constatada diferença estatística entre os tratamentos em nenhuma das avaliações.

Tabela 4. Resumo da análise de variância do índice de clorofila Falker® aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em resposta a aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas e doses.

FV	GL	Quadrado médio			
		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Época de aplicação (EA)	1	0,55 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,82 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Dose (D)	7	4,24 ^{ns}	6,32 ^{ns}	9,00 ^{ns}	14,55 ^{ns}
EA x D	7	1,39 ^{ns}	5,85 ^{ns}	8,28 ^{ns}	7,62 ^{ns}
Resíduo	30	4,50	5,28	10,10	7,11
CV (%)		4,17	4,67	6,51	7,25

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo.

A Figura 6 apresenta o índice de clorofila Falker durante as quatro avaliações, aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura em função da aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio. Não foi constatada resposta dessa variável dependente em função do aumento da dose de fertilizante.

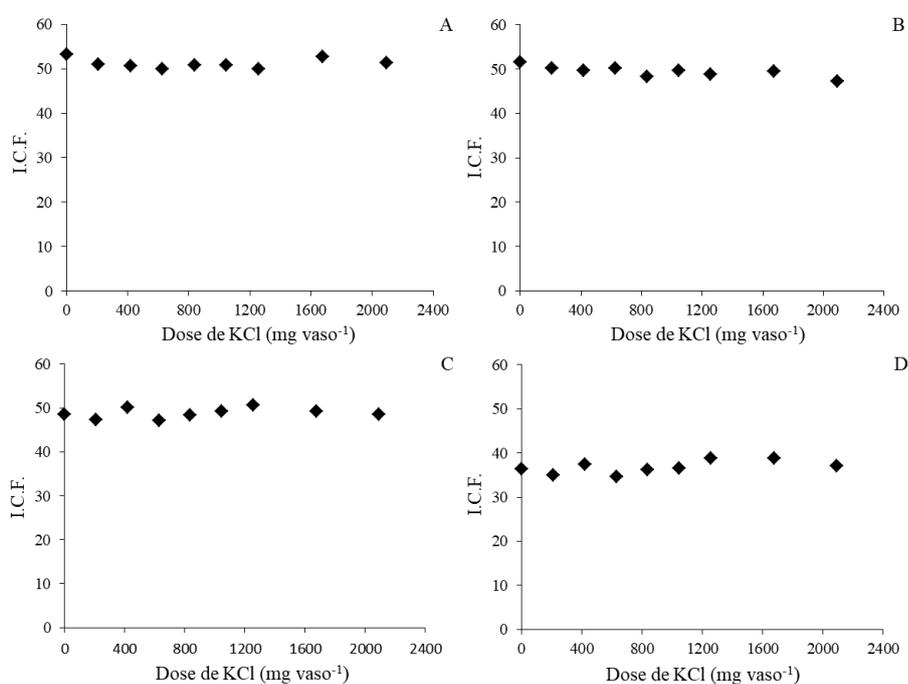


Figura 6. Índice de clorofila Falker (I.C.F.) aos quinze (A), trinta (B), quarenta e cinco (C) e sessenta (D) dias após a semeadura em resposta a aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹).

A Figura 7 apresenta o índice de clorofila Falker durante a condução do experimento em resposta à diferentes épocas de aplicação de cloreto de potássio. Não houve diferença estatística entre as diferentes épocas de aplicação do fertilizante em nenhuma das quatro avaliações realizadas.

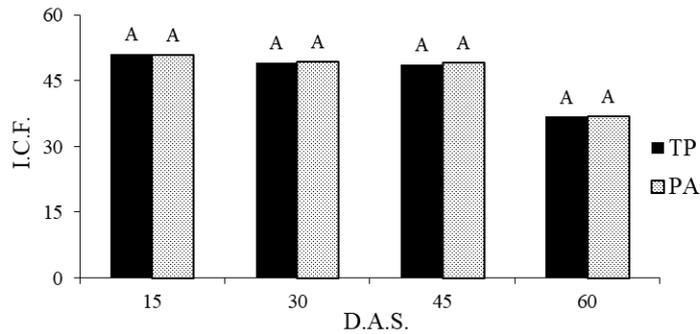


Figura 7. Índice de clorofila Falker® (I.C.F.) aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em decorrência da época de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada avaliação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Em estudo realizado sobre a interação de nitrogênio e potássio na nutrição e teor de clorofila em plantas de trigo, Viana (2007) constatou haver interferência das doses de potássio sobre os teores de clorofila, assim como sua interação com o nitrogênio sobre tal variável. Em seu estudo, o autor encontrou os teores máximos de clorofila em seu trabalho quando aplicada a dose de 200 mg dm^{-3} de potássio, associada às doses de 70 a 280 mg dm^{-3} de nitrogênio.

3.5.3 Produção de matéria seca

Houve resposta à dose na produção de matéria seca do colmo e da parte aérea total (Tabela 5). Já a produção de matéria seca das folhas e das raízes não sofreu interferência dos tratamentos, assim como massa seca total.

Tabela 5. Resumo da análise de variância da massa seca de folhas (M.S.F.), colmos (M.S.C.), massa seca total da parte aérea (M.S.T.P.A.), de raízes (M.S.R.) e massa seca total (M.S.T.) de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio em diferentes épocas.

FV	GL	Quadrado médio				
		M.S.F.	M.S.C.	M.S.T.P.A.	M.S.R.	M.S.T.
Época de aplicação (EA)	1	4,35 ^{ns}	10,94 ^{ns}	1,49 ^{ns}	191,36 ^{ns}	226,68 ^{ns}
Dose (D)	7	3,58 ^{ns}	60,14*	82,29*	59,67 ^{ns}	79,24 ^{ns}
EA x D	7	2,75 ^{ns}	37,69 ^{ns}	52,86 ^{ns}	139,47 ^{ns}	175,56 ^{ns}
Resíduo	30	5,28	24,70	33,53	94,35	126,49 ^{ns}
CV (%)		4,33	10,02	5,32	15,01	6,48

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo.

A Figura 8 apresenta o acúmulo de matéria seca em folhas, colmos, raízes, total da parte aérea e total de plantas de milho em função de diferentes épocas de aplicação de cloreto de potássio. Não foi constatada influência da época de aplicação do fertilizante sobre a produção de matéria seca de nenhum dos órgãos e nem sobre o acúmulo total.

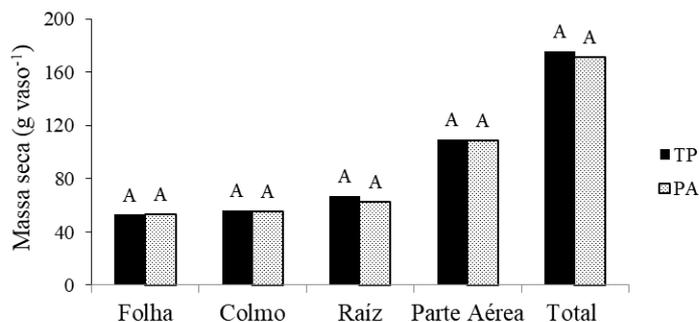


Figura 8. Acúmulo de massa seca de folhas, colmos, raízes, da parte aérea total e total em plantas de milho adubadas com cloreto de potássio em épocas distintas, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Com o aumento da dose ocorreu um aumento linear na produção de massa seca de colmos e da parte aérea total (Figura 9). Mesmo havendo resposta, observa-se que os acréscimos na produção de matéria seca foram pouco pronunciados em resposta ao aumento da dose de KCl. Como o teor inicial de potássio do solo se encontrava em um valor considerado alto, muito provavelmente as plantas de milho se encontravam no estado nutricional denominado de consumo de luxo.

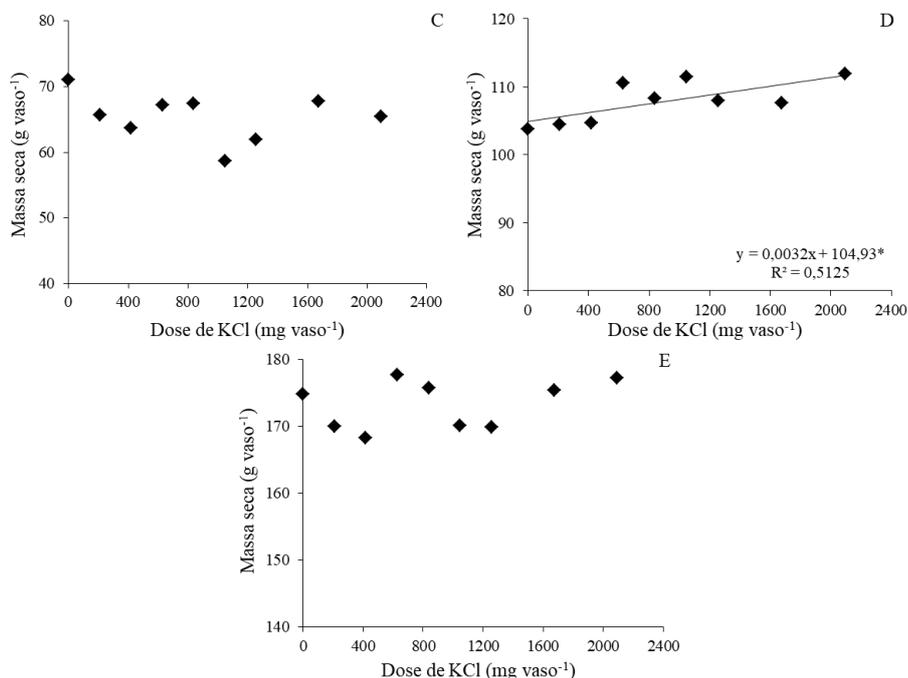


Figura 9. Massa seca de folhas (A), colmos (B), raízes (C), parte aérea total (D) e total de plantas de milho em resposta a doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

O pico de absorção e acúmulo de K pela cultura do milho ocorre durante a fase vegetativa até o pendoamento (VT). Resultados de pesquisa apontam que o acúmulo de K tem correlação positiva com a produção de matéria seca de folhas e colmos (Overman et al., 1995). Ao avaliar a produção de matéria seca e absorção de nutrientes pela cultura do milho

em resposta à adubação potássica, Andreotti et al. (2000) constatou aumento na matéria seca até teores de $1,5 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ de potássio no solo. No presente trabalho o teor inicial de potássio trocável no solo encontrava-se em 2,3, o que justifica a resposta incipiente ao aumento das doses.

Estudando sobre o manejo da adubação potássica na cultura da cana de açúcar, Otto et al. (2010) observaram efeito significativo das doses crescentes de potássio na produtividade de colmos e de açúcar até doses em torno de 160 kg ha^{-1} de K_2O . Porém, os autores não verificaram diferença entre o parcelamento e a aplicação total no plantio sobre esses atributos.

Entretanto, em estudo sobre doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado, Silveira e Damasceno (1993) constataram que o rendimento de grão de feijão foi superior quando a aplicação do K foi realizada de maneira parcelada em comparação a aplicação total no plantio.

3.5.4 Altura de inserção da última folha expandida

A altura de inserção da última folha expandida foi influenciada pela dose de cloreto de potássio, na terceira avaliação que foi realizada aos quarente e cinco dias após a semeadura (Tabela 6). Por ser um elemento muito móvel no floema, o potássio é rapidamente translocado para regiões meristemáticas. Sendo assim, essas regiões onde o crescimento é mais intenso, mantem um adequado suprimento de potássio mesmo em condições de deficiência moderada. Essa constatação pode explicar a pequena resposta da altura em relação aos tratamentos.

Tabela 6. Resumo da análise de variância da altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em resposta a aplicação de cloreto de potássio em diferentes doses e épocas.

FV	GL	Quadrado médio			
		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Época de aplicação (EA)	1	0,18ns	3,00ns	4,38ns	1,17ns
Dose (D)	7	5,75ns	1,38ns	11,77*	29,36ns
EA x D	7	5,83ns	2,48ns	7,47ns	14,29ns
esíduo	30	3,68	2,05	4,74	36,57
CV (%)		12,10	5,71	5,64	8,61

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

A altura de inserção da última folha completamente expandida durante as quatro avaliações, em resposta à aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas, é apresentado pela figura 10. A aplicação do fertilizante em épocas distintas não exerceu influência sobre a altura em nenhuma das avaliações realizadas.

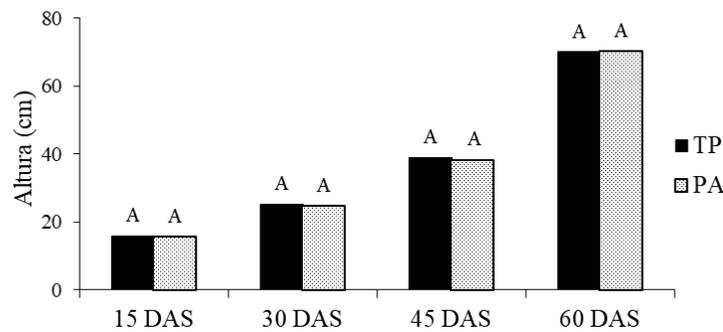


Figura 10. Altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS), em função da aplicação de cloreto de potássio em diferentes épocas, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A Figura 11 apresenta a altura de inserção da última folha completamente expandida, em resposta à aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio, nas quatro avaliações realizadas durante o experimento. Foi observada diferença estatística entre as doses sobre a altura na terceira avaliação, aos quarenta e cinco dias. Porém, a regressão não foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade.

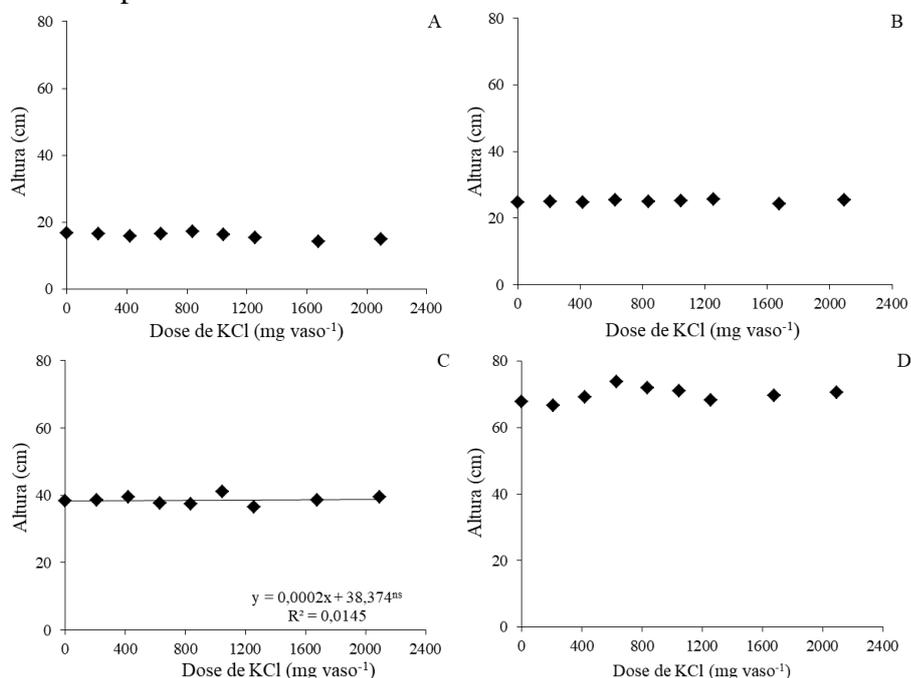


Figura 11. Altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze (A), trinta (B), quarenta e cinco (C) e sessenta dias (D) após a semeadura, em função da aplicação de doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹).^{ns} Regressão não significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Avaliando características agrônomicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem, Rabelo et al. (1995) verificaram efeito quadrático sobre a altura das plantas, com a altura máxima alcançada com a aplicação de 97,5 kg ha⁻¹ de K₂O. Porém, não encontraram resposta da variável à época de aplicação. A avaliação da altura das plantas de milho é muito importante, pois essa variável está

diretamente correlacionada com o número de plantas acamadas que não são colhidas pelo maquinário (Mello et al., 2004).

Constatação contrária a este trabalho foi encontrada por Petter et al. (2016). Os autores realizaram estudo sobre doses e épocas de aplicação de potássio, concluíram que tal nutriente promoveu maior altura das plantas, principalmente quando a aplicação foi realizada de maneira parcelada com 50% da dose no momento da semeadura e 50% 30 dias após a semeadura.

3.5.5 Acúmulo de macronutrientes primários na parte aérea

Ao analisar o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio, constata-se que houve influência dos tratamentos sobre o acúmulo de todos nutrientes (Tabela 7). A aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio influenciou o acúmulo de Nitrogênio e potássio na parte aérea, enquanto que a época de aplicação influenciou o acúmulo de fósforo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em colmos, folhas e na parte aérea total (A.T.P.A.) de plantas de milho em função da aplicação de doses crescentes de KCl em épocas distintas.

FV	GL	Quadrado médio		
		Acúmulo no colmo	Acúmulo na folha	A.T.P.A.
Nitrogênio				
Época de aplicação (EA)	1	47,50ns	399,57ns	171,54ns
Dose (D)	7	2202,62ns	60277,85*	16833,90*
EA x D	7	2132,30ns	36383,62ns	10450,42ns
Resíduo	30	1793,20	95937,51	5099,29
CV (%)		20,97	10,00	9,31
Fósforo				
Época de aplicação (EA)	1	82,95ns	1494,08*	865,30*
Dose (D)	7	134,57ns	78,64ns	282,68ns
EA x D	7	80,67ns	94,84ns	284,84ns
Resíduo	30	90,17	229,91	193,05
CV (%)		19,02	20,45	11,20
Potássio				
Época de aplicação (EA)	1	4294,84ns	15967,66ns	36824,93ns
Dose (D)	7	26948,77*	105708,12*	230752,11*
EA x D	7	6112,81ns	7167,32ns	12863,23ns
Resíduo	30	4201,92	5002,94	11246,99
CV (%)		24,05	11,26	11,81

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

A Figura 12 apresenta o acúmulo de nitrogênio na parte aérea de plantas de milho em função da aplicação de cloreto de potássio em épocas distintas. Não foi observada efeito da época de aplicação do fertilizante KCl sobre o acúmulo de N.

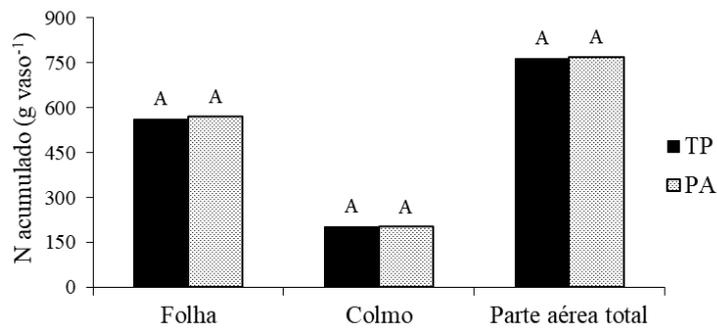


Figura 12. Nitrogênio acumulado pelas folhas, colmos e pela parte aérea total de plantas de milho em função da aplicação de KCl em diferentes épocas, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A Figura 13 apresenta o acúmulo de N nas folhas, colmos e na parte aérea total de plantas de milho adubadas com doses crescentes de cloreto de potássio. Foi constatado um aumento linear no acúmulo de N nas folhas e na parte aérea total das plantas, em resposta ao aumento da dose de cloreto de potássio.

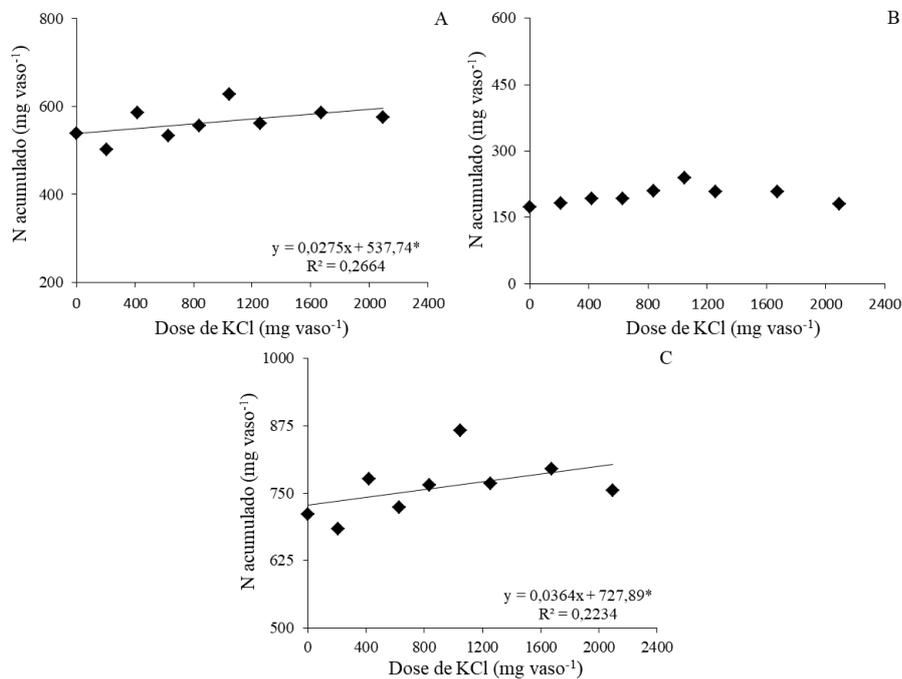


Figura 13. Nitrogênio acumulado por folhas (A), colmos (B) e parte aérea total (C) de plantas de milho em resposta a doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Supõe-se que o potássio favorece a assimilação de nitrogênio pela cultura do milho. Segundo Xu et al. (2002), o metabolismo de nitrogênio nos vegetais requer quantidades adequadas de potássio no citoplasma, pois é essencial na produção de aminoácidos e outros compostos nitrogenados. Também existem evidências de que o potássio está envolvido no início dos processos metabólicos do nitrogênio, em especial sobre a atividade da nitrato-redutase (Ruan et al., 1998; 1999). Viana (2007) encontrou maior absorção e, conseqüentemente, maior aproveitamento do nitrogênio quando as adubações potássicas e nitrogenadas foram associadas.

Quando a aplicação de cloreto de potássio foi realizada de forma parcelada, o acúmulo de fósforo nas folhas e na parte aérea total foi maior quando comparado á aplicação total no plantio (Figura 14).

Em estudo realizado sobre o parcelamento da adubação potássica na cultura da batata, Job (2014) observou diminuição linear dos teores foliares de P com o aumento da dose de potássio. Porém, o autor verificou que quando a aplicação foi realizada de maneira parcelada, o teor foliar de P foi maior do que aquele obtido quando o potássio foi aplicado totalmente no sulco de plantio na dose de 100 kg ha⁻¹.

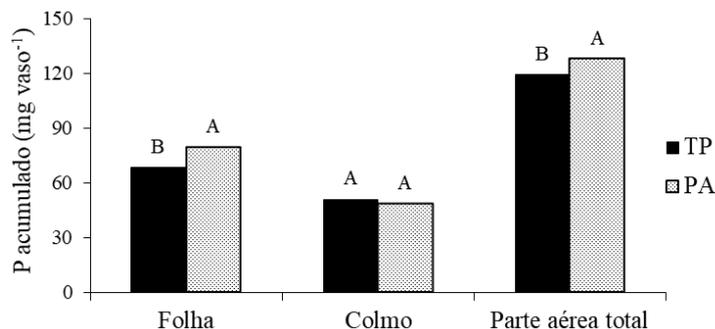


Figura 14. Acúmulo de fósforo em folhas, colmos e parte aérea total de plantas de milho em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) ou parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A Figura 15 apresenta o acúmulo de fósforo em folhas, colmos e na parte aérea total de plantas de milho adubadas com doses crescentes de cloreto de potássio. Não foi observada influência exercida pelo aumento da dose de KCl sobre o acúmulo de fósforo.

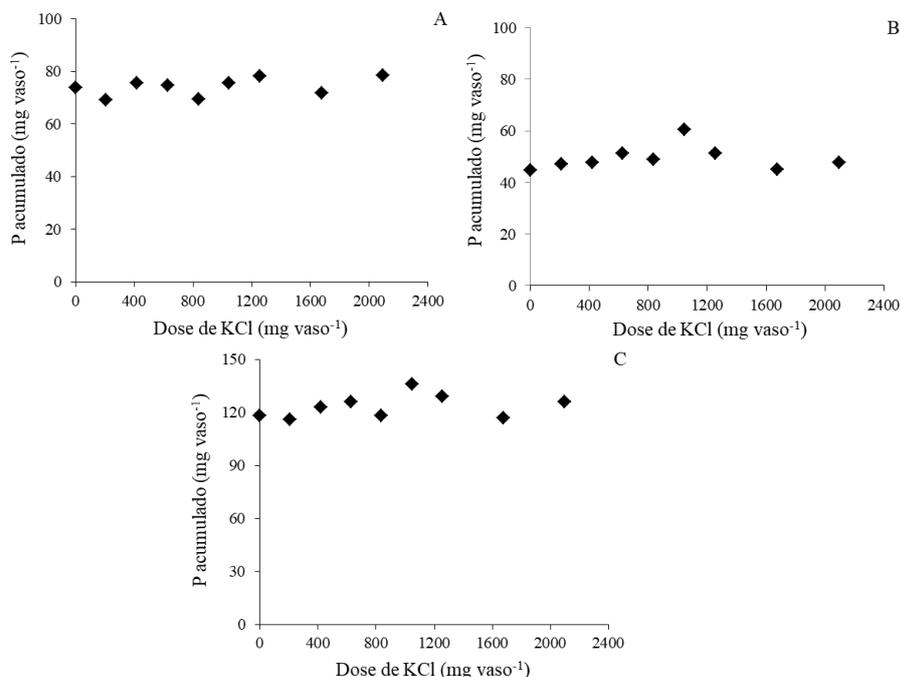


Figura 15. Acúmulo de fósforo nas folhas (A), colmos (B) e parte aérea total (C) de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹).

A Figura 16 apresenta o acúmulo de potássio em folhas, colmos e parte aérea total de plantas de milho em resposta à aplicação de cloreto de potássio em épocas distintas. Não foi observada alteração no acúmulo de potássio em função da época de aplicação.

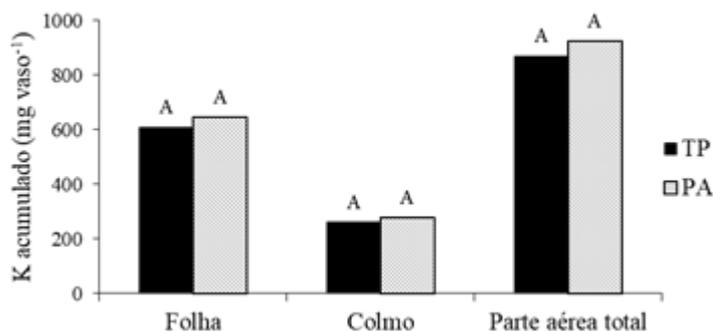


Figura 16. Acúmulo de potássio em folhas (A), colmos (B) e parte aérea total de plantas de milho em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada categoria não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Estudando sobre o parcelamento da adubação potássica na cultura do algodoeiro, Silva et al. (1984) concluíram que o parcelamento da aplicação de potássio aumentou a produtividade da cultura, principalmente em solos com baixa disponibilidade de potássio. Já em estudo sobre o desempenho da soja submetida ao parcelamento da adubação potássica, Salib et al. (2012) constataram que a aplicação mais eficaz do potássio em cobertura é aquela realizada trinta dias após a semeadura. No presente trabalho não houve resposta ao parcelamento, muito provavelmente, pelo fato de o teor inicial de potássio do solo se encontrar dentro de uma faixa considerada adequada.

A Figura 17 apresenta o acúmulo de potássio em folhas, colmos e parte aérea total de plantas de milho adubadas com doses crescentes de cloreto de potássio. Ocorreu aumento linear no acúmulo de potássio nas folhas, colmos e parte aérea total em resposta ao aumento da dose de cloreto de potássio. Ao comparar a figura 9, que apresenta a produção de massa seca das plantas de milho, com a figura 17, que traz o acúmulo de potássio, nota-se uma resposta ao aumento da dose de KCl muito mais acentuada para o acúmulo de potássio em comparação à produção de matéria seca. Muito provavelmente, os teores de potássio no solo situaram-se numa faixa de consumo de luxo para as plantas de milho.

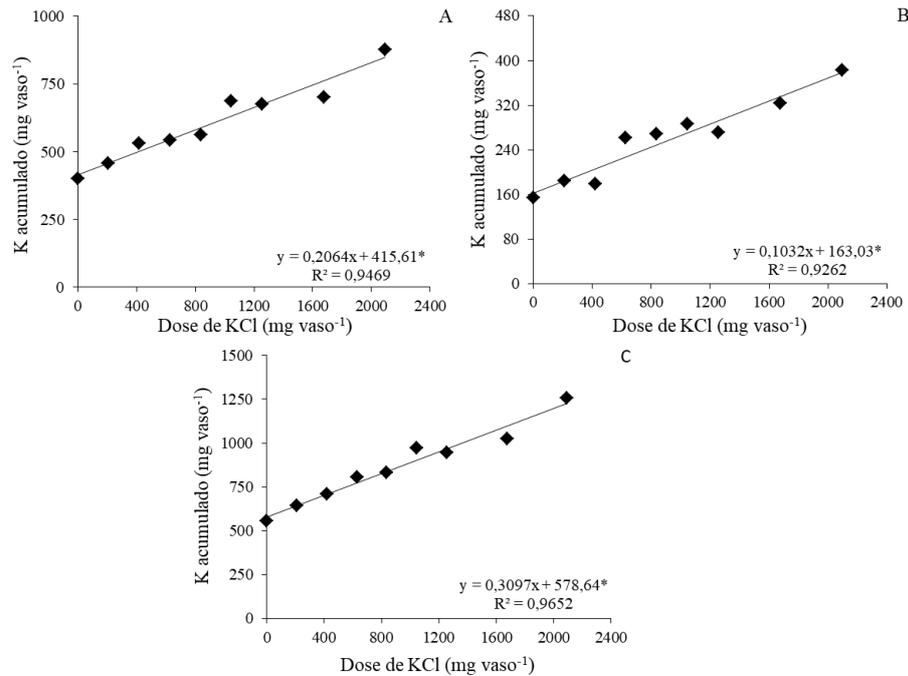


Figura 17. Acúmulo de potássio em folhas (A), colmos (B) e parte aérea total (C) de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de KCl (0, 209, 419, 628, 837, 1046, 1256, 1675 e 2093 mg vaso⁻¹). *Regressão significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Avaliando doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense, Peter et al. (2016) observaram incremento linear significativo nas concentrações de potássio em folhas de milho em resposta ao aumento das doses de K₂O. Avaliando a marcha de absorção de nutrientes na cultura do milho, Borges (2006) observou que o acúmulo de potássio por diferentes cultivares de milho apresentou comportamento quadrático durante o ciclo da cultura. O autor ainda conclui que, a acumulação de potássio nas cultivares utilizadas no experimento, teve um primeiro pico de absorção na ocasião do florescimento, e um segundo pico na maturidade fisiológica, sendo que nesse segundo momento foi observado o máximo acúmulo desse nutriente pela cultura.

3.5.6 pH do solo

A Tabela 8 apresenta o resumo da análise de variância do pH do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em resposta da aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio em diferentes épocas. Não houve diferença entre as médias em nenhuma das profundidades.

Tabela 8. Resumo da análise de variância do pH do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Época de aplicação”.

FV	GL	Quadrado médio			
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Época de aplicação (EA)	1	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Dose (D)	7	0,08 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}
EA x D	7	0,02 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Resíduo	30	0,06	0,11	0,03	0,09
CV (%)		3,94	5,56	2,85	5,13

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo.

Os valores de pH do solo em função da época de aplicação de cloreto de potássio nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 são apresentados pela figura 18. Foi constatada a tendência na diminuição do pH em profundidade.

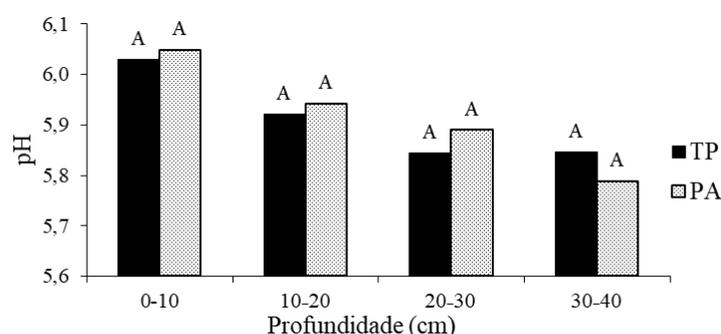


Figura 18. Valores de pH do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.

A concentração de íons exerce forte influência sobre a atividade das H⁺-ATPases, localizadas na plasmalema. No caso do potássio, concentrações insuficientes desse íon na solução do solo, estimulam a atividade dessa proteína, que passa a realizar a extrusão de H⁺ de maneira mais intensa, favorecendo a absorção ativa de potássio (Fernandes e Sousa, 2006). Com o aumento da profundidade, os teores de K vão diminuindo (Figura 18), o que poderia justificar a diminuição do pH em profundidade promovido pela extrusão de prótons.

Em trabalho realizado sobre o efeito da aplicação de ureia e de cloreto de potássio por fertirrigação em parâmetros químicos do solo, Santos et al. (2016) não encontraram variação no pH na profundidade de 0,40 m em resposta à aplicação de doses crescentes de ureia e cloreto de potássio via água de irrigação. Porém, Neves (2007) observou que os valores de pH de quatro classes de solo se comportaram quadraticamente com o aumento da dose de KCl. No entanto, ainda há controvérsias sobre a magnitude da interferência causada pela aplicação de cloreto de potássio sobre o pH do solo.

3.5.7 K disponível no solo

A Tabela 9 apresenta a análise de variância do K disponível no solo nas diferentes profundidades estudadas. Observa-se que houve diferença estatística entre as formas de aplicação dos fertilizantes na camada de 0-10 cm de profundidade.

Tabela 9. Resumo da análise de variância do K disponível no solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Época de aplicação”.

FV	GL	Quadrado médio			
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Época de aplicação (EA)	1	179,99 [*]	65,33 ^{ns}	8,12 ^{ns}	1,02 ^{ns}
Dose (D)	7	23,71 ^{ns}	15,28 ^{ns}	19,93 ^{ns}	5,96 ^{ns}
EA x D	7	36,10 ^{ns}	27,94 ^{ns}	16,04 ^{ns}	28,74 ^{ns}
Resíduo	30	16,24	19,27	17,73	8,92
CV (%)		21,05	34,20	34,04	24,25

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo.

Na Figura 19 é possível observar que na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, a adubação realizada de forma parcelada promoveu menores teores de K disponível. Isso indica que o parcelamento aumenta a quantidade de K absorvido pela cultura nessa camada, porém não foi o suficiente para se refletir em maior acúmulo na parte aérea. Como a umidade do solo foi mantida entre 50 a 70% da capacidade de campo aproximadamente, não houve percolação de água na coluna de solo, podendo atribuir a isto a baixa movimentação vertical do K aplicado.

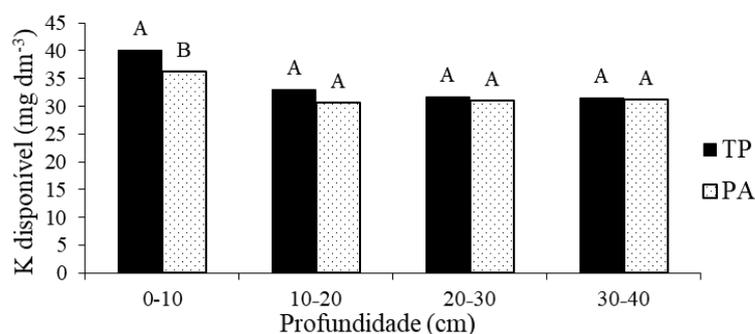


Figura 19. Potássio disponível no solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em resposta a diferentes épocas de aplicação de KCl, dose total no plantio (TP) e parcelada (PA). Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.

A mobilidade vertical de íons no solo é influenciada por fatores físicos e químicos do próprio solo. Dentre os fatores físicos, os de maior relevância são a distribuição relativa e o tamanho dos poros, assim como seu grau de saturação com água (Dierolf et al., 1997), e a quantidade de água percolada do perfil (Bustos et al., 1996). A concentração de íons da solução do solo, o pH, a capacidade de troca de cátions, as reações de dissolução/precipitação, e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida durante o percurso vertical são os fatores químicos de maior relevância (Akinremi e Cho, 1991; Ernani et al., 2002; Ishiguro et al., 2002).

Em estudo realizado sobre a mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio, Ernani et al. (2007) concluíram que a quantidade de potássio percolada, aumenta com a dose e com a incorporação do fertilizante potássico. Também concluíram que a quantidade de potássio foi maior nas primeiras percolações de água.

3.6 CONCLUSÕES

As diferentes doses e épocas de aplicação não interferiram na emergência e nem no crescimento das plantas de milho.

A produção de massa seca da parte aérea aumentou ligeiramente com o aumento da dose, porém o acúmulo de potássio da parte aérea aumentou de maneira muito mais pronunciada.

De maneira geral, as doses e épocas de aplicação do fertilizante exerceram pouca influência sobre o desenvolvimento da cultura do milho até o estágio VT.

4 CAPÍTULO II

TESTE DE DESEMPENHO DE CLORETO DE POTÁSSIO GRANULADO COM ÁCIDOS HÚMICOS

4.1 RESUMO

Os ácidos húmicos são moléculas orgânicas, de elevado peso molecular, capazes de adsorver cátions, interferindo positivamente na absorção de nutrientes. Tendo em vista que o fertilizante potássico mais utilizado na agricultura é o cloreto de potássio, o objetivo dessa etapa foi avaliar a eficiência de fertilizantes a base de cloreto de potássio, acrescidos de diferentes concentrações de ácidos húmicos (AH), extraídos de diferentes fontes. Para tal, foi conduzido experimento em casa de vegetação com delineamento em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial com duas fontes de extração dos AH (vermicomposto e turfa), cinco concentrações de ácidos húmicos (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 % m m⁻¹) e um tratamento adicional que consistiu em cloreto de potássio comercial, com três repetições. As unidades experimentais consistiram de tubos de PVC com 20 cm de diâmetro e 40 cm de altura, seccionados a cada 10 cm de altura. Os tubos foram preenchidos com solo de textura arenosa, nos quais foram semeadas 20 sementes do híbrido de milho AG-1051 e posteriormente aplicada uma lâmina d'água suficiente para elevar a umidade do solo a 70% da capacidade do campo, para posterior aplicação dos fertilizantes em superfície. Durante a primeira semana, foi realizada diariamente a contagem de plântulas emergidas, assim como a condutividade elétrica do solo. Quinzenalmente foram realizadas as avaliações de altura da última folha completamente expandida e índice de clorofila Falker®. Aos sessenta dias após a semeadura, foram coletadas as folhas, os colmos, as panículas e as raízes separadamente. Após a coleta das folhas, procedeu-se com a determinação da área foliar e, posteriormente, as folhas, colmos, panículas e raízes foram alocadas em sacos de papel, transferidos pra estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante para a determinação da massa seca. Posteriormente, colmos e raízes foram moídos e digeridos a fim de se determinar os teores de N, P e K. Na ocasião da coleta também foi coletada uma amostra de solo a cada 10 cm de profundidade com o intuito de determinar o pH, fósforo disponível e os valores de potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis das amostras. A aplicação dos diferentes fertilizantes avaliados não influenciou de maneira pronunciada o desenvolvimento da cultura do milho até estágio fenológico VT, com a constatação de diferença irrelevante na germinação de plântulas e massa seca de raízes. As diferenças mais pronunciadas no estado nutricional foram obtidas no acúmulo de P, onde o cloreto de potássio granulado com ácido húmico extraído de vermicomposto apresentou o melhor desempenho. Já para N e K, as diferenças encontradas foram pequenas sendo que os fertilizantes granulados obtiveram desempenho similar ao cloreto de potássio comercial. Os parâmetros da fertilidade do solo foram pouco influenciados pela aplicação dos diferentes fertilizantes. De maneira geral, o cloreto de potássio granulado com ácido húmico extraído de vermicomposto promoveu ligeira melhora na fertilidade da camada de 0 a 10 cm de profundidade, quando comparado aos demais fertilizantes avaliados.

Palavras-chave: Adubação. Nutrição mineral. Fertilidade do solo.

4.2 ABSTRACT

Humic acids are organic molecules of high molecular weight capable of adsorbing cations, interfering positively in the absorption of nutrients. Considering that the potassium fertilizer most used in agriculture is potassium chloride, the objective of this stage was to evaluate the efficiency of fertilizers based on potassium chloride, plus different concentrations of humic acids (AH) extracted from different sources. The experiment was carried out in a greenhouse with a completely randomized block design, in a factorial scheme with two sources of AH extraction (vermicompost and peat), five concentrations of humic acids (0; 2,5; 5,0; 7,5 and 10,0% m^{-1}) and an additional treatment consisting of commercial potassium chloride with three replicates. The experimental units consisted of PVC pipes with 20 cm in diameter and 40 cm in height, sectioned every 10 cm in height. The tubes were filled with sandy texture soil, in which 20 seeds of corn hybrids AG-1051 were sown and a sufficient water depth was applied to raise the soil moisture to 70% of the field capacity. fertilizers on the surface. During the first week, the count of emerged seedlings was carried out daily, as well as the electrical conductivity of the soil. The height evaluations of the last fully expanded leaf and Falker® chlorophyll index were performed every fortnight. Sixty days after sowing, the leaves, stems, panicles and roots were collected separately. After the leaves were collected, the leaf area was determined and, later, the leaves, shoots, panicles and roots were placed in paper bags, transferred to the forced circulation air oven at 65°C until reaching constant weight for the determination of the dry mass. Subsequently, stems and roots were ground and digested in order to determine N, P and K contents. At the time of collection a soil sample was also collected every 10 cm depth to determine the pH, available phosphorus and the exchangeable potassium, sodium, calcium and magnesium values of the samples. The application of the different evaluated fertilizers did not influence the development of the corn crop until the VT phenological stage, with irrelevant difference in germination of seedlings and dry mass of roots. The most pronounced differences in the nutritional status were obtained in the accumulation of P, where the potassium chloride granulated with humic acid extracted from vermicompost presented the best performance. However for N and P, the differences found were small and the granulated fertilizers obtained similar performance to the commercial potassium chloride. The parameters of soil fertility were little influenced by the application of the different fertilizers. In general, potassium chloride granulated with humic acid extracted from vermicompost promoted a slight improvement in the fertility of the layer of 0 to 10 cm of depth, when compared to the other evaluated fertilizers.

Key words: Fertilization. Mineral nutrition. Soil fertility.

4.3 INTRODUÇÃO

A vermicompostagem é um processo que tem como principal finalidade a reciclagem de resíduos orgânicos e a produção de adubo orgânico estabilizado, e possui como produto final o vermicomposto ou húmus de minhoca. Resulta da combinação da ação de minhocas e dos microrganismos que habitam seus intestinos. Tal processo altera quantitativamente e qualitativamente a composição das substâncias húmicas dos materiais orgânicos, proporcionando um maior rendimento na extração das substâncias húmicas. É constatado que a ação das minhocas acelera a estabilização da matéria orgânica e produz um composto com menor relação C/N, maior CTC e maior quantidade de substâncias húmicas (Albanell et al., 1988).

A turfa é uma substância fóssil, organomineral, originada da decomposição parcial de restos vegetais em ambientes alagadiços. O processo de decomposição da matéria orgânica ocorre em um ambiente ácido e com pouca oxigenação. Possui um elevado teor de substâncias húmicas, o que lhe confere forte atração pela maioria dos cátions metálicos em solução (Petroni et al., 2000).

A utilização de insumos a base de substâncias húmicas em lavouras comerciais vem ganhando importância devido às respostas obtidas, principalmente em cultivos de elevado interesse econômico (Cunha et al., 2009). Para tanto, a principal fonte de extração dessas substâncias, são materiais de origem geológica ricos em C humificado, como é o caso das turfas (Zaller, 2007).

Sabe-se que os ácidos húmicos exercem influência sobre o desenvolvimento vegetal, sendo a fração humificada de maior bioatividade (Silva et al., 2011). Quando adicionado ao fertilizante, pode influenciar de maneira positiva a aquisição de nutrientes devido a mudanças na arquitetura radicular e no aumento da superfície específica do sistema radicular.

Os AH são capazes de adsorver grandes quantidades de cátions por unidade de massa. Portanto se espera que, quando adicionados ao cloreto de potássio, a liberação dos íons K^+ para solução do solo ocorra de forma mais gradual, minimizando os impactos negativos proporcionados pela diminuição do potencial hídrico no entorno do grânulo. A liberação mais lenta do K^+ do fertilizante também diminui a quantidade de K^+ perdido por lixiviação, uma vez que o nutriente vai sendo liberado para solução do solo concomitantemente com a sua absorção pela cultura.

Diante do exposto, o presente capítulo teve por objetivo avaliar a eficiência do fertilizante cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos em concentrações crescentes, extraídos de diferentes fontes, sobre o desenvolvimento vegetativo do híbrido de milho AG-1051, assim como sobre alterações em parâmetros da fertilidade do solo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Obtenção dos ácidos húmicos

Os ácidos húmicos foram extraídos e purificados a partir de vermicomposto e de turfa seguindo os procedimentos propostos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS, 2014). A turfa e o vermicomposto foram cedidos pela Embrapa Solos e pela Fazendinha Agroecológica do km 47, respectivamente. Para a extração das substâncias húmicas, foi adicionada a uma amostra de 500 g dos materiais orgânicos, uma solução de NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) sob atmosfera de N_2 (g) em uma relação 1:10 (m:v) durante oito horas. Posteriormente, a suspensão foi centrifugada a 10.000 rpm durante 30 minutos. O sobrenadante foi coletado e filtrado com papel de filtro. Após a filtragem, ajustou-se o pH do sobrenadante até o valor de 1,5, com a adição de uma solução de HCl (6 mol L^{-1}) a fim da precipitação dos ácidos húmicos. Após um período de 24 h, procedeu-se com a centrifugação do sobrenadante para extrair os ácidos húmicos remanescentes. Os ácidos húmicos precipitados foram centrifugados com H_2O gelada. Em seguida, os AH foram agitados por um período de 24 horas com uma solução de HCl:HF: H_2O numa proporção de 1:1:98 (v/v) para a eliminação de elementos minerais. A suspensão foi novamente centrifugada para a remoção da solução ácida e os AH lavados com água destilada. Após a lavagem, os AH foram transferidos para membrana de diálise (14k Dacut-off) que foram submersas em água destilada e deionizada até o teste negativo para íons Cl^- usando uma solução de AgNO_3 ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$). Após essa etapa, os AH foram liofilizados e armazenados. Os processos realizados para a extração e purificação dos AH estão ilustrados na Figura 20.



Figura 20. Extração (A) e centrifugação (B) das SH; separação das frações AF e AH (C); diálise dos AH (D); AH momentos antes da liofilização (E); e liofilização dos AH (F).

Após a extração, os ácidos húmicos foram digeridos, seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), a fim de determinar os teores de nitrogênio, fósforo e potássio.

Foram realizadas quatro repetições para cada amostra. O teor de nitrogênio do extrato digerido foi determinado por destilação alcalina; o teor de fósforo foi determinado por colorimetria, e o de potássio através do fotômetro de chama. Os resultados das determinações são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Teor de nitrogênio, fósforo e potássio dos ácidos húmicos utilizados na produção dos fertilizantes, em porcentagem (m m^{-1}).

Fonte de extração	N	P	K
	-----%-----		
Turfa	3,78	0,22	0,67
Vermivomposto	3,09	0,25	0,05

4.4.2 Produção dos fertilizantes

Os fertilizantes foram produzidos no Laboratório das Relações Solo Planta do Departamento de Solos da UFRRJ pelo processo de granulação em disco pelletizador. O KCl comercial foi macerado em almofariz e em seguida passado por peneira com abertura de malha de 0,42 mm (ABNT/ASTM 40) com o intuito de facilitar a homogeneização e melhorar a granulação das misturas.

Os demais componentes dos fertilizantes constituíram-se de ácido húmico, polivinilpirrolidona (PVP) e areia lavada. O PVP $(\text{C}_6\text{H}_9\text{NO})_n$ é um agente aglutinante e foi adicionado à mistura com o intuito de promover maior dureza aos grânulos. Assim como o KCl, todos os demais componentes da mistura passaram por peneira com abertura de malha de 0,42 mm. Todos os componentes das misturas descritos na Tabela 11.

Tabela 11. Composição dos fertilizantes granulados.

Fonte de extração dos AH	Percentual de AH (m m^{-1})	Percentual de PVP (m m^{-1})	Percentual de Areia (m m^{-1})
----	0,0	2,0	10,0
Turfa	2,5	2,0	7,5
Turfa	5,0	2,0	5,0
Turfa	7,5	2,0	2,5
Turfa	10,0	2,0	0,0
Vermicomposto	2,5	2,0	7,5
Vermicomposto	5,0	2,0	5,0
Vermicomposto	7,5	2,0	2,5
Vermicomposto	10,0	2,0	0,0

A homogeneização das misturas foi realizada através da passagem repetitiva de todos os componentes por peneira com abertura de malha de 0,42 mm. Depois de homogeneizadas, procedeu-se com a granulação das mesmas. A adição das misturas ao disco pelletizador foi realizada de maneira gradual, com a borrifação de H_2O destilada para possibilitar a granulação. Após a formação dos grânulos, o fertilizante foi classificado de acordo com o diâmetro. Os grânulos que passaram pela peneira de 4 mm e que posteriormente ficaram retidos em peneira de 2 mm foram utilizados como fertilizante. Em seguida, os grânulos foram transferidos para estufa de ventilação forçada de ar a uma temperatura de 45°C por um período de 16 horas. Ao término desse período, os fertilizantes passaram novamente pelas peneiras de 2 e 4 mm, sendo novamente separados de acordo com o diâmetro e armazenados em frascos de plástico hermeticamente fechados.

Após classificados de acordo com o diâmetro, procedeu-se a determinação da porcentagem de K_2O de cada fração, com o intuito de verificar a possível ocorrência de

segregação dos componentes do fertilizante em alguma das frações. A Tabela 12 apresenta os resultados da análise.

Tabela 12. Percentual de K₂O em cada fração dos fertilizantes elaborados.

Percentual de AH (m m ⁻¹)	Ø < 2 mm	2 mm < Ø < 4 mm	Ø > 4 mm
	-----K ₂ O %-----		
0,0	56,42	55,57	55,44
2,5	56,41	56,70	53,29
5,0	58,00	57,55	55,47
7,5	54,87	58,47	56,95
10,0	55,77	56,84	56,51

Após a determinação dos teores de K₂O, se realizou o teste de dureza da fração granulométrica de diâmetro entre 2 e 4 mm. Foram coletados 20 grânulos de cada fertilizante, de maneira aleatória, para determinação da dureza de cada grânulo. Esta avaliação foi realizada em durômetro do Laboratório de Fertilizantes da Embrapa Solos.

4.4.3 Caracterização experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ, em condições de temperatura e umidade controladas.

A amostra de solo utilizada, assim como os procedimentos de correção do pH foram os mesmos descritos para o subitem 3.5. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 2 x 5 + 1, sendo duas fontes de extração dos ácidos húmicos (turfa e vermicomposto) cinco concentrações de ácidos húmicos (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 % (m m⁻¹)), e um tratamento adicional que constituiu em cloreto de potássio comercial puro, com três repetições totalizando 11 tratamentos e 33 unidades experimentais.

Na ocasião da instalação do experimento, em 20 de abril de 2018, as unidades experimentais foram preenchidas com solo previamente corrigido e adubado, como descrito no subitem 3.5, até a altura de 40 cm. Logo após, os vasos receberam uma aplicação de água até atingirem a umidade correspondente a 70% da sua capacidade de campo. Posteriormente foram semeadas 20 sementes por tubo do híbrido AG-1051 numa profundidade de 3 cm. A umidade do solo foi repostada diariamente através da pesagem de 10% das unidades experimentais que receberam uma quantidade de água equivalente à diferença entre o peso dos tubos com a umidade em 70% da capacidade de campo e a média das pesagens ao final do dia. As temperaturas e umidades diárias foram registradas por de termo-higrômetro instalado dentro da casa de vegetação (Figura 21).

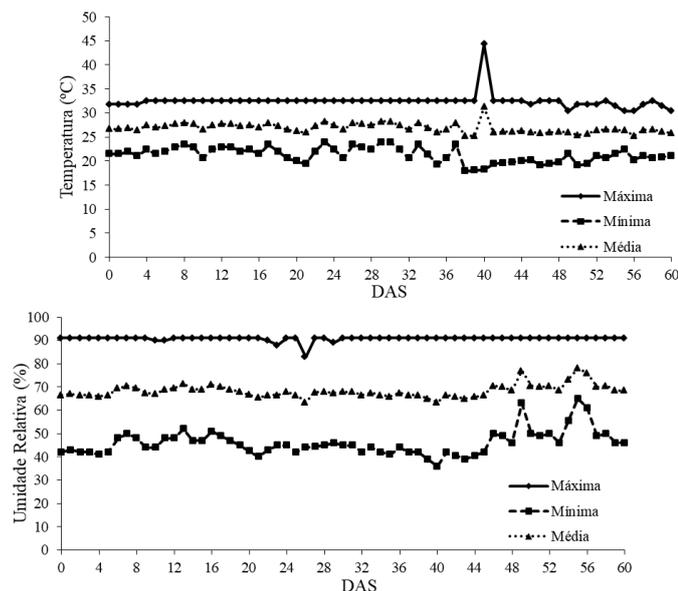


Figura 21. Temperatura e umidade relativa média, máxima e mínima no interior da casa de vegetação durante o cultivo do milho.

Após a semeadura foram aplicados os fertilizantes granulados e o cloreto de potássio comercial. Foi aplicada uma dose equivalente a $1,2 \text{ g de K}_2\text{O vaso}^{-1}$. A aplicação dos fertilizantes foi realizada totalmente na ocasião da semeadura. A dose de K_2O foi determinada de acordo com o capítulo I, pois foi aquela que proporcionou maior acúmulo de massa seca na parte aérea. Já a aplicação da dose total no plantio se deu para simular a condição de maior estresse para as sementes e verificar a capacidade dos ácidos húmicos em minimizá-lo.

A partir da aplicação dos tratamentos, foram realizadas determinações diárias da condutividade elétrica do solo com o condutímetro Hanna HI 993310, equipado com eletrodo que realiza medições diretamente no solo. As leituras foram realizadas numa profundidade de 4 cm em três pontos aleatórios dos tubos e foi utilizado como valor, a média das três leituras. Também foi realizada a contagem de plântulas emergidas diariamente, até o fim da fase de emergência. Após o término desta fase se procedeu com o desbaste, mantendo apenas duas plantas por tubo.

Quinzenalmente, foram realizadas leituras para a medição indireta do teor de clorofila utilizando medidor eletrônico de clorofila, da marca clorofiLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola. As leituras foram realizadas na última folha completamente expandida das plantas, em seu terço médio, realizando três leituras por folha e adotando a média das leituras como valor de cada planta. Na ocasião das leituras, procedeu-se com a medição da altura de inserção da última folha completamente expandida.

O experimento foi conduzido durante 60 dias. Ao término deste período, todas as plantas se apresentavam empenoadas (VT), motivo esse da decisão da coleta. Diferente do primeiro experimento, o empenoamento se deu de maneira uniforme. Foram então coletados, separadamente, as panículas, as folhas e os colmos. Logo após serem coletadas, as folhas passaram por medidor de área foliar. Na sequência, todos os tecidos foram armazenados em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. Também foram coletadas as raízes que foram separadas do solo com o auxílio de uma peneira com abertura de malha de 4 mm. Logo após, as raízes foram lavadas em água corrente, com o auxílio de peneira com abertura de malha de 1 mm para evitar a perda de raízes finas. Após serem lavadas, as raízes foram transferidas para sacos de papel e alocadas dentro da casa de vegetação para retirar o excesso de água. Em seguida, foram transferidas

para estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. Também foram coletadas amostras de terra a cada 10 cm de profundidade, que foram secas ao ar, peneiradas em peneira com abertura de malha de 2 mm e armazenadas para posteriores avaliações.

4.4.4 Análises laboratoriais e estatísticas

Os tecidos vegetais secos foram pesados com o uso de balança de precisão. Em seguida, foram moídos em moinho do tipo Wille e armazenados. Procedeu-se então com a digestão das amostras, seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Para cada amostra, foi transferido 0,200 g de tecido para tubo de digestão onde foram adicionados 1mL de H₂O₂, 2 mL de H₂SO₄ concentrado e 0,7 g de mistura catalisadora da digestão. Os tubos foram então transferidos para bloco digestor, onde as temperaturas foram aumentadas gradativamente, partindo-se de 100° C até atingir a temperatura de 330° C. Ao término da digestão, os tubos foram completados com água destilada até a marca de aferição de 50 mL. O tubo foi agitado e o extrato transferido para tubo do tipo Falcon de 50 ml. Do extrato, foram determinados os teores de nitrogênio, fósforo e potássio.

O teor de nitrogênio foi determinado através da destilação a vapor do extrato acrescido com NaOH 10M. O teor de fósforo foi realizado por espectrofotometria e o de potássio por fotometria de chama.

Nas amostras de terra, foram determinados o pH, os teores de fósforo disponível, potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis e soma de bases seguindo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Para P, K e Na, foi utilizado como extrator a solução Mehlich – 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) na proporção solo:extrator de 1:10. Após a extração, se procedeu com a determinação dos teores de K e Na por fotometria de chama e de P por colorimetria.

Os cátion trocáveis Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados utilizando-se uma solução extratora de KCl 1M. O Ca²⁺ + Mg²⁺ trocáveis foram determinados por complexometria na presença dos indicadores negro de eriocromo e murexida. O cálcio foi determinado por complexometria na presença de calconcarbônico + Sulfato de sódio. O magnésio foi determinado pela diferença entre os valores de Ca²⁺ + Mg²⁺ e Ca²⁺. Não se procedeu com a determinação do alumínio, pois no valor de pH em que o solo se encontrava (6,5) o alumínio permanece em formas pouco solúveis.

De posse dos resultados, os dados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade dos resíduos. As variáveis que atenderam a normalidade foram submetidas à análise de variância. Aquelas que não atenderam, foram submetidas à transformação algébrica para posterior análise de variância. Quando significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, as médias do fator qualitativo (fontes de extração dos ácidos húmicos) foram comparadas pelo teste de Tukey à 5%, e os dados do fator quantitativo (concentração de ácido húmico dos fertilizantes) foram submetidos a análise de regressão. A significância dos coeficientes de determinação foi realizada através do teste F a 5%.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Dureza e solubilidade dos fertilizantes

Na Tabela 13 é apresentado o resumo da análise de variância da dureza dos fertilizantes. Os dados foram transformados em $(x + 1)^{0,5}$, pois não atenderam a normalidade dos resíduos. As fontes de extração dos ácidos húmicos (AH) não diferiram entre si em relação à dureza. Foi constatado que a concentração de AH adicionada ao fertilizante exerce influência sobre sua dureza, não havendo interação entre fonte de extração e concentração.

Tabela 13. Resumo da análise de variância da dureza dos fertilizantes de acordo com o fatorial “Fonte de Extração x Concentração de Ácido Húmico”.

FV	GL	Quadrado médio
Fonte de Extração (FE)	1	r0,01ns
Concentração AH (CAH)	4	r0,05*
FE x CAH	4	r0,00ns
Resíduo	18	r0,01ns
CV (%)		8,89

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo; r: dados transformados em $(x + 1)^{0,5}$.

A dureza dos fertilizantes em resposta ao aumento da concentração de AH é apresentada pela Figura 22. Com o acréscimo na concentração de AH, a dureza dos fertilizantes aumenta linearmente, porém mesmo na maior concentração (10% $m\ m^{-1}$), a dureza dos fertilizantes granulados é muito inferior à do KCl comercial puro. Esta constatação pode ser justificada pelo fato do KCl comercial se apresentar na forma de cristais. Ao realizar a granulação, a estrutura cristalina é destruída ao se macerar o fertilizante. Após a granulação, a estrutura cristalina, muito mais rígida, não se recupera, sendo que os AH atuam como agentes agregantes.

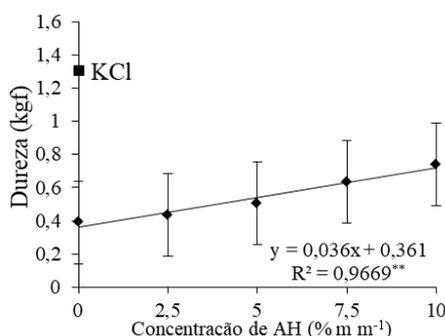


Figura 22. Análise de regressão da dureza dos fertilizantes em resposta ao aumento da concentração dos ácidos húmicos (AH). Regressão significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

4.5.2 Condutividade elétrica do solo e emergência das plântulas de milho

A Figura 23 apresenta as médias da variação da condutividade elétrica do solo até sete dias após a aplicação dos fertilizantes. De acordo com a figura, é possível observar que os

fertilizantes com concentrações de 7,5 e 10 % (m m^{-1}) de AH promoveram menores variações na CE do solo.

A CE do solo é regulada principalmente pelas concentrações dos seguintes íons dissolvidos na solução: H^+ , OH^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , íons fosfato e sulfato, espécies Al^{3+} e micronutrientes (Carmo e Silva, 2016). Como o ácido húmico é capaz de adsorver íons, nas maiores concentrações de AH aplicadas via fertilizante, ocorreu a adsorção dos íons presentes em solução, promovendo maior poder tampão da CE do solo.

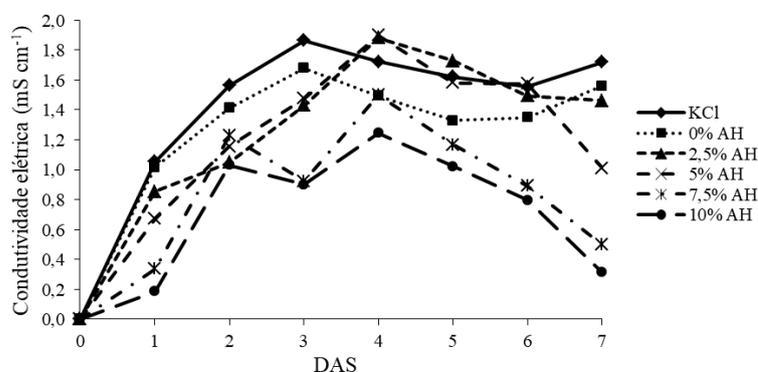


Figura 23. Condutividade elétrica do solo nos sete primeiros dias após a semeadura (DAS) em resposta às diferentes concentrações de ácidos húmicos (AH).

Na Tabela 14 está representado o resumo da análise de variância do número de plântulas emergidas durante os sete primeiros dias após a semeadura. A emergência das plântulas se iniciou no quarto dia após o plantio, sendo que no sétimo dia se encerrou esta fase. Ocorreu interferência na germinação em resposta da variação da concentração no dia 5 e, no dia 7, ocorreu interação entre fonte e dose. Não foi observada diferença significativa entre o fatorial e o tratamento adicional.

Tabela 14. Quadrados médios da análise de variância da emergência de plântulas de milho durante os primeiros sete dias após a aplicação dos tratamentos.

FV	GL	Quadrado médio			
		Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
Fonte de Extração (FE)	1	20,83ns	40,83ns	67,5ns	83,33ns
Concentração AH (CAH)	4	300,8ns	318,75*	245,83ns	238,75*
FE x CAH	4	91,67ns	234,58ns	234,17ns	260,41*
Adicional x Fatorial	1	33,4ns	17,05ns	17,05ns	4,84ns
Resíduo	20	161,97	98,48	113,41	83,48
CV (%)		4,26	6,02	3,07	5,61

**significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Houve resposta da porcentagem de plântulas emergidas no quinto dia após a semeadura em resposta ao aumento da concentração de AH dos fertilizantes (Figura 24). Nota-se que o ponto de máxima da curva é obtido na concentração de 5%. No sétimo dia também houve resposta quadrática, porém a resposta foi significativa apenas para os fertilizantes granulados com KCl e AH extraídos de turfa. As concentrações de 2,5 e 5 % de AH extraídos de turfa demonstraram tendência em aumentar a porcentagem de plântulas emergidas quando comparadas aos demais tratamentos.

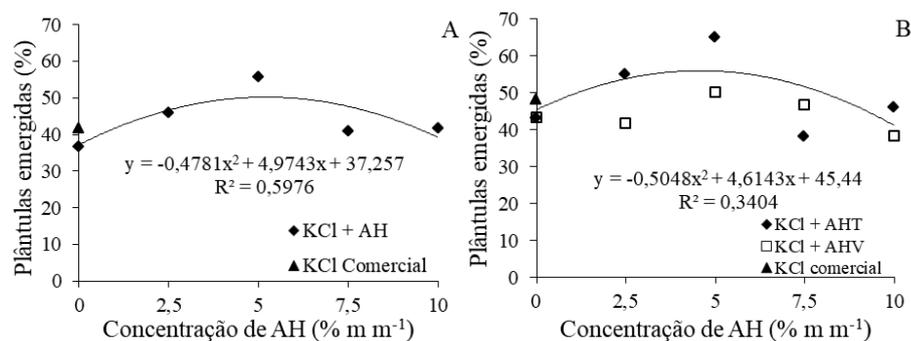


Figura 24. Porcentagem de plântulas emergidas no quinto (A) e sétimo (B) dias após a aplicação dos tratamentos. Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em estudos com petúnia em cultivo protegido, Arancon et al. (2008) observaram aumento linear na germinação das sementes em resposta à quantidade de substâncias húmicas aplicadas. Esse efeito foi atribuído pelos autores às propriedades que os ácidos húmicos e fúlvicos possuem de estimular a síntese de hormônios vegetais, e ainda a atividade de enzimas.

É reportada na literatura a capacidade dos AH em aliviar estresses. A aplicação de ácido húmico num estresse salino moderado em plântulas de pimenta resultou em maior crescimento radicular, avaliado pelo peso fresco e seco das raízes (Çimrin et al., 2010).

Ao avaliar a mobilidade de K^+ no solo com o aumento de doses de KCl, Silva et al. (2009) observaram que o efeito negativo que o incremento da dose de KCl pode ocasionar na germinação e no desenvolvimento de radículas depende basicamente da distância de localização dos grânulos do fertilizante em relação às sementes, da capacidade do solo em reter umidade e da CTC do solo. Sendo assim, o efeito positivo dos AH na emergência das sementes pode ser atribuído também à grande capacidade de retenção de água e do aumento da CTC nas adjacências dos grânulos.

4.5.3 Avaliações biométricas

A Tabela 15 apresenta o resumo da análise de variância da altura de inserção da última folha completamente expandida nas quatro avaliações e da área foliar na ocasião da coleta. Não houve diferença significativa em nenhuma das avaliações. Também não foi constatada diferença estatística entre o tratamento adicional (KCl comercial) e o fatorial.

Tabela 15. Quadrados médios da análise de variância da altura de inserção da última folha completamente expandida aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) e da área foliar na ocasião da coleta em resposta a aplicação dos fertilizantes.

FV	GL	Quadrado médio				
		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	Área Foliar
Fonte de Extração (FE)	1	0,16ns	0,01ns	3,01ns	274,52ns	963664,14ns
Concentração AH(CAH)	4	0,79ns	4,63ns	141,22ns	271,28ns	475065,43ns
FE x CAH	4	4,64ns	2,36ns	26,83ns	56,49ns	343607,06ns
Adicional x Fatorial	1	1,81ns	0,04ns	61,53ns	2,01ns	65916,88ns
Resíduo	20	2,39	8,15	116,04	100,04	505414,51
CV (%)		10,98	8,76	13,31	9,16	6,86

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

De acordo com Shaw (1977), as maiores produções de milho ocorrem quando a temperatura oscila entre 21°C e 27°C. Observa-se na Figura 21 que as temperaturas máximas e mínimas flutuaram muito próximo desses valores. Além do mais, o solo foi corrigido, adubado, e sua umidade foi mantida numa faixa adequada para a cultura durante todo o cultivo. Tudo isso contribuiu para o máximo desenvolvimento da cultura, o que pode ter mascarado o efeito benéfico dos ácidos húmicos sobre o crescimento vegetal. A Figura 25 apresenta os valores de altura de inserção da última folha completamente expandida durante as quatro avaliações, e da área foliar na ocasião da coleta.

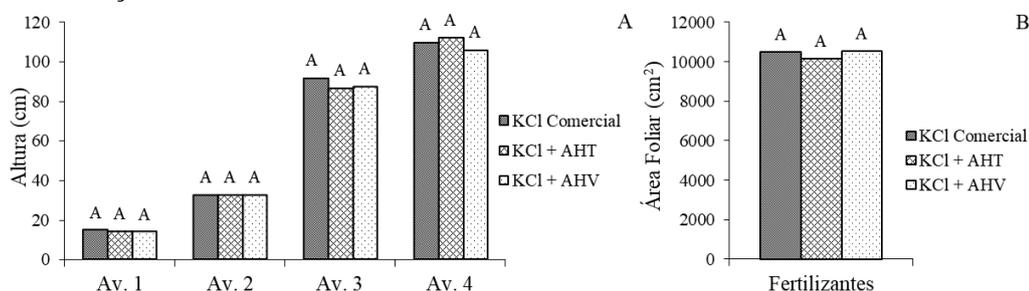


Figura 25. Altura de inserção da última folha completamente expandida nas quatro avaliações quinzenais (A), e área foliar das plantas de milho na ocasião da coleta (B) em resposta a aplicação dos fertilizantes: KCl comercial, e KCl granulado com ácido húmico extraído de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV).

Ao cultivarem milho com substâncias húmicas (mistura líquida de 12% de ácido húmico e 3% de ácido fúlvico), Verlinden et al. (2009) observaram um pequeno aumento na produtividade quando o milho foi cultivado em solo argiloso, não havendo efeito das substâncias húmicas quando cultivado em solo arenoso.

Avaliando a influência de AH aplicados via solo (0; 5; 10; 15; 25 e 30 kg de AH ha⁻¹) sobre a altura, número de folhas, área foliar e produção de matéria seca em plantas de milho cultivadas por 60 dias, Daur e Bakhashwain (2013) obtiveram resultados divergentes do presente trabalho. Os autores constataram o aumento nos parâmetros de crescimento do milho, atribuindo para tal a melhora das condições do solo da zona radicular.

Em estudo sobre o efeito da aplicação de AH (0; 30; 60 e 90 mg de AH kg⁻¹ de solo) sobre o crescimento de Trigo em dois solos diferentes (Planossolo calcário e não calcário), Tahir et al. (2011) observaram respostas positivas em ambos os solos, porém o aumento do crescimento em resposta a aplicação dos AH foi mais pronunciada no solo não calcário. A dose de 60 mg de AH kg⁻¹ de solo foi mais eficiente na promoção de crescimento da cultura.

Já Pinheiro et al. (2010), relataram haver efeito significativo da aplicação de doses crescentes sobre altura de plantas de eucalipto cultivadas em solução nutritiva, havendo diminuição linear da altura em resposta ao aumento da concentração de AH. Os autores atribuíram tal constatação à formação de complexos organometálicos de elevada massa molecular, que impossibilita a entrada do nutriente/complexo nas células das raízes.

4.5.4 Índices de clorofila

A Tabela 16 apresenta o quadrado médio dos índices de clorofila Falker® nas quatro avaliações. Houve diferença estatística entre o tratamento adicional e o fatorial na quarta avaliação para o índice de clorofila B.

Tabela 16. Quadrados médios da análise de variância dos índices Falker® de clorofila aos quinze, trinta, quarenta e cinco e sessenta dias após a semeadura (DAS) em resposta a aplicação dos fertilizantes.

FV	GL	Quadrado médio			
		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Índice de Clorofila A					
Fonte de Extração (FE)	1	2,59ns	0,03ns	0,68ns	0,06ns
Concentração AH (CAH)	4	3,30ns	1,60ns	3,24ns	7,69ns
FE x CAH	4	0,60ns	3,74ns	4,04ns	2,94ns
Adicional x Fatorial	1	0,36ns	0,67ns	0,21ns	1,82ns
Resíduo	20	2,43	1,93	2,81	2,60
CV (%)		4,86	3,85	5,19	5,43
Índice de Clorofila B					
Fonte de Extração (FE)	1	ln0,00ns	0,76ns	1,28ns	0,08ns
Concentração AH (CAH)	4	ln0,00ns	7,81ns	5,15ns	2,35ns
FE x CAH	4	ln0,03ns	4,14ns	5,97ns	1,12ns
Adicional x Fatorial	1	ln0,01ns	1,09ns	3,09ns	4,72*
Resíduo	20	ln0,03	3,47	3,89	0,86
CV (%)		6,74	11,36	18,11	12,64
Índice de Clorofila Total					
Fonte de Extração (FE)	1	24,52ns	1,11ns	3,84ns	0,29ns
Concentração AH (CAH)	4	8,96ns	15,92ns	16,50ns	18,36ns
FE x CAH	4	2,55ns	14,64ns	19,34ns	7,68ns
Adicional x Fatorial	1	7,90ns	0,05ns	1,70ns	12,45ns
Resíduo	20	8,98	10,09	12,93	6,44
CV (%)		6,83	6,05	8,33	6,84

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo; ln: dados transformados em Ln (x).

Ao submeter às médias de índice de clorofila b (I.C.F.b) ao teste de Tukey a 5% de probabilidade (Figura 26), foi constatado que o cloreto de potássio comercial promoveu maior I.C.F.b quando comparado ao KCl granulado com AH extraídos de vermicomposto. Entretanto, o KCl granulado com AH extraído de turfa não diferiu estatisticamente dos demais fertilizantes. Não houve diferença estatística no índice de clorofila total.

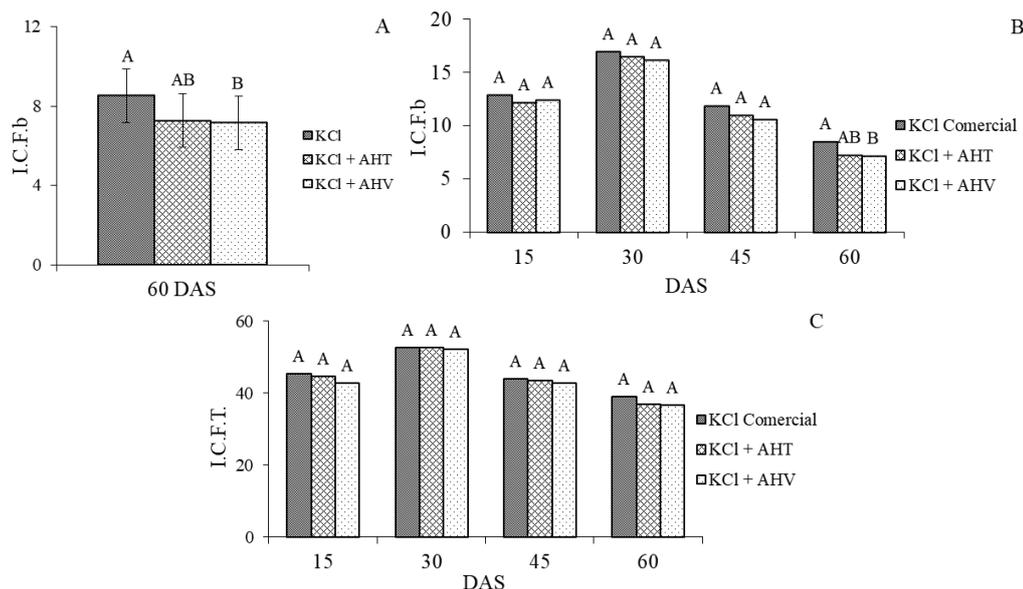


Figura 26. Índice de clorofila b aos sessenta dias após a semeadura (DAS) (A), nas quatro avaliações (B) e índice de clorofila total (I.C.F.T.) (C) nas quatro avaliações em respostas a aplicação dos fertilizantes: cloreto de potássio comercial, cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Barras verticais indicam a diferença mínima de significância. Colunas seguidas de mesma letra, dentro de cada avaliação, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.

Avaliando o desempenho do abacaxizeiro em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação, Baldotto et al. (2009) não observaram diferença significativa nos teores dos pigmentos fotossintéticos, incluindo clorofila a, clorofila b, e carotenoides. Liu et al. (1998) verificaram que a aplicação de AH nas concentrações de 100, 200 e 400 mg L⁻¹ na gramínea *Agrostis stolonifera* também não alterou o teor de clorofila total.

Ao estudar sobre o efeito de fontes e doses de ácidos húmicos na produção da cultivar de feijão BRS Radiante, Barral (2015) não constatou diferença significativa no teor de clorofila em resposta à aplicação de doses crescentes de AH (0, 2, 8, 16 e 32 kg ha⁻¹) extraídos de fontes distintas (composto, turfa e produto comercial).

4.5.5 Acúmulo de massa seca

A Tabela 17 apresenta o resumo da análise de variância do acúmulo de massa seca das folhas, colmos, panículas, raízes e acúmulo de massa seca total de plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes. Ocorreu diferença significativa no acúmulo de massa seca das raízes em resposta à fonte de extração dos AH. Não foi observada diferença entre o tratamento adicional e o fatorial para nenhuma das variáveis dependentes.

Tabela 17. Quadrados médios da análise de variância da massa seca de folhas (M.S.F.), massa seca de colmos (M.S.C.), massa seca de panículas (M.S.P.), massa seca de raízes (M.S.R.) e da massa seca total (M.S.T.) acumulada por plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes potássicos.

FV	GL	Quadrado médio				
		M.S.F.	M.S.C.	M.S.P.	M.S.R.	M.S.T.
Fonte de Extração (FE)	1	75,64ns	78,55ns	0,19ns	114,43*	41,28ns
Concentração AH(CAH)	4	26,42ns	103,62ns	2,99ns	19,67ns	296,76ns
FE x CAH	4	43,07ns	130,39ns	0,60ns	55,38ns	410,86ns
Adicional x Fatorial	1	19,88ns	34,31ns	0,46ns	6,84ns	185,31ns
Resíduo	20	34,68	157,05	1,37	18,65	223,57
CV (%)		7,15	20,85	13,42	10,05	7,70

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

O KCl granulado com AH extraído de turfa proporcionou maior acúmulo de massa seca em raízes de milho quando comparado ao KCl granulado com AH extraído de vermicomposto. Entretanto, o KCl comercial foi estatisticamente igual aos fertilizantes granulados (Figura 27). Tal constatação reforça a hipótese de que a ação fito-hormonal exercida pelos ácidos húmicos depende de sua supraestrutura, sendo que esta é muito variável, dependendo do material orgânico de origem e das condições ambientais em que este material foi humificado. Também vale ressaltar que, em sua composição, os fertilizantes granulados possuem o polímero PVP, cujas interações com os ácidos húmicos não são bem conhecidas. Apesar de promover maior dureza aos fertilizantes e ser considerado como um agente inerte, esse polímero pode ter interagido com os ácidos húmicos, diminuindo a eficiência dos fertilizantes granulados na produção de massa seca. Além disso, o solo se encontrava com elevados teores iniciais de K trocável (89 mg dm^{-3}), sendo assim as plantas cresceram sob uma condição de consumo de luxo, minimizando as diferenças entre os tratamentos.

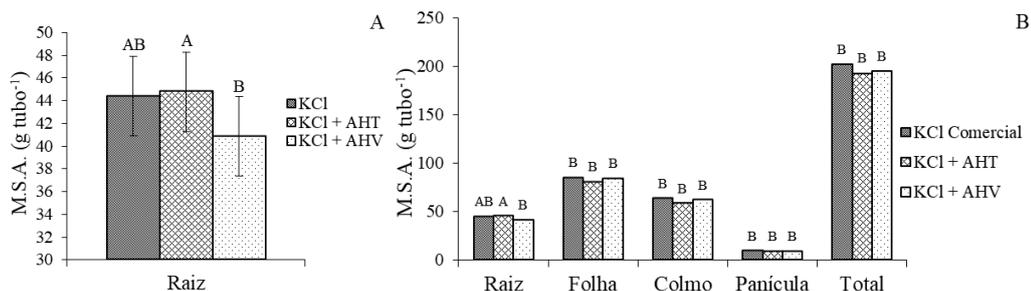


Figura 27. Massa seca acumulada (M.S.A.) pelas raízes (A) e nos demais órgãos vegetais (B) em plantas de milho adubadas com cloreto de potássio comercial, cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e de vermicomposto (KCl + AHV).

Barras verticais indicam a diferença mínima de significância. Colunas com mesma letra, dentro de cada órgão, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5%.

Segundo Vaughan e Malcom (1985), os ácidos húmicos podem influenciar diretamente o desenvolvimento e a produtividade das plantas, sendo seus efeitos dependentes da fonte de obtenção, das doses utilizadas e da espécie da planta estudada.

Em estudo realizado sobre a bioatividade dos AH e seus efeitos sobre a morfologia radicular de plantas de arroz, García (2013) constatou um aumento de 79% na produção de biomassa radicular nas concentrações de 20 e 40 mg L⁻¹ de AH extraído de vermicomposto.

O autor ainda constatou o estímulo exercido por essas substâncias na emissão de raízes laterais, no número e no crescimento das raízes.

A ação hormonal das SH em plantas tem sido amplamente relatada na literatura, especificamente a do tipo auxina. Segundo Dobbs et al. (2010), a ação tipo auxina das SH em plantas segue um mecanismo que se inicia com a exudação de ácidos orgânicos pelas raízes das plantas que, ao entrar em contato com as SH presentes no solo, libera da supraestrutura das SH, moléculas de estrutura similar a das auxinas que podem ser reconhecidas pelos receptores celulares nas plantas. Portanto, a ação hormonal exercida pelas SH em plantas está diretamente ligada com suas características estruturais.

4.5.6 Acúmulo de NPK

Na Tabela 18 é apresentado o resumo da análise de variância do acúmulo de NPK nas folhas, colmos, panículas, raízes, acúmulo total da parte aérea e acúmulo total em plantas de milho em resposta a aplicação dos fertilizantes. Foi constatada a influência da concentração de AH sobre o acúmulo de N total da parte aérea e total de plantas de milho. Houve também diferença entre as fontes de extração no acúmulo de P nas raízes e entre o tratamento adicional e o fatorial no acúmulo total de P em plantas de milho. O acúmulo de potássio nas folhas, na parte aérea total e o acúmulo total foram influenciados pela fonte de extração.

Tabela 18. Quadrados médios da análise de variância do acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas (Ac. Folha), colmos (Ac. Colmo), panículas (Ac. Panícula), raízes (Ac. Raiz), total da parte aérea (Ac. T.P.A.) e total (Ac. Total) em plantas de milho em resposta a aplicação dos tratamentos.

FV	GL	Quadrado médio				Ac. T.P.A.	Ac. Total
		Ac. Folha	Ac. Colmo	Ac. Panícula	Ac. Raiz		
Nitrogênio							
FE	1	42401,52ns	31,27ns	0,00ns	342,33ns	44760,58ns	37271,23ns
CAH	4	48765,60ns	1931,32ns	4193,37ns	2169,16ns	88715,28*	116624,67*
FE x CAH	4	3105,26ns	3126,62ns	1161,67ns	5256,57ns	6414,35ns	19709,36ns
Ad. x Fat.	1	12073,38ns	1587,14ns	6777,15ns	452,53ns	53843,17ns	44424,29ns
Resíduo	20	21246,31	2852,87	1865,46	1920,29	25448,51	28577,30
CV (%)		19,35	40,68	20,21	22,39	14,53	13,06
Fósforo							
FE	1	305,22ns	627,00ns	4,06ns	270,78*	1982,42ns	787,87ns
CAH	4	127,95ns	1289,89ns	28,09ns	26,53ns	1213,51ns	950,47ns
FE x CAH	4	106,15ns	554,43ns	5,01ns	172,01ns	779,70ns	1121,90ns
Ad. x Fat.	1	209,59ns	720,85ns	54,29ns	88,91ns	1153,79ns	1882,89*
Resíduo	20	72	520,62	18,69	61,50	495,63	405,09
CV (%)		7,34	24,70	14,20	17,00	9,34	7,07
Potássio							
FE	1	158503,45*	16109,64ns	32,53ns	340,50ns	269715,49*	250889,42*
CAH	4	29822,07ns	11015,52ns	2853,37ns	375,58ns	57107,52ns	52770,02ns
FE x CAH	4	31275,81ns	5718,98ns	392,91ns	1972,05ns	47333,87ns	56629,44ns

Continua...

Continuação da Tabela 18.

FV	GL	Quadrado médio				Ac. T.P.A.	Ac. Total
		Ac. Folha	Ac. Colmo	Ac. Panícula	Ac. Raiz		
Potássio							
Ad. x Fat.	1	2781,80ns	343,60ns	2130,15ns	2130,15ns	142,71ns	100,20ns
Resíduo	20	29860,28	20802,26	940,95	940,95	40521,54	48318,48
CV (%)		7,30	21,12	11,48	11,48	6,07	6,08

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Com aumento da concentração de AH nos fertilizantes, independentemente da fonte de extração, ocorreu um aumento linear do acúmulo de nitrogênio na parte aérea e no acúmulo total em plantas de milho (Figura 28).

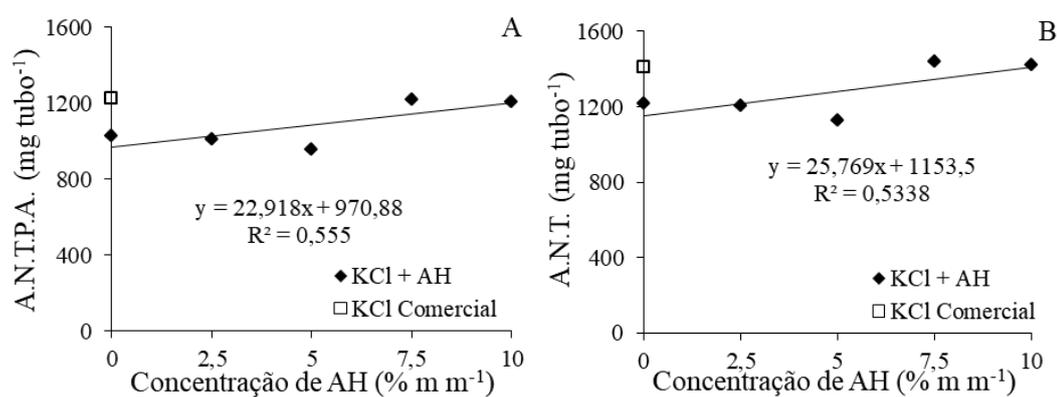


Figura 28. Acúmulo de nitrogênio total da parte aérea (A.N.T.P.A.) e do acúmulo de nitrogênio total (A.N.T.) em plantas de milho em resposta ao aumento da concentração de ácidos húmicos (AH) nos fertilizantes. *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Vale ressaltar que antes da semeadura do milho, foi incorporada ao solo das unidades experimentais uma dose de 1,6 g vaso⁻¹ de ureia. Dong et al. (2009) relatam que as substâncias húmicas diminuem as perdas de N por volatilização quando aplicadas juntamente com a ureia. Os autores sugerem duas hipóteses para explicar o mecanismo pelo qual as substâncias húmicas aumentam o aproveitamento da ureia. A primeira é que parte dos íons amônio gerados da hidrólise da ureia são retidos na estrutura dos AH por adsorção; e a segunda é que os AH são capazes de inibir a atividade da enzima urease, catalizadora da reação de hidrólise da ureia. Porém, são necessários mais estudos a fim de elucidar melhor como os AH atuam na melhora da eficiência da adubação amídica.

Outra explicação para o aumento linear no acúmulo de nitrogênio em resposta ao aumento da concentração de ácidos húmicos dos fertilizantes reside no fato de os ácidos húmicos possuírem um teor de nitrogênio considerável (Tabela 10). Os ácidos húmicos extraídos de turfa e vermicomposto apresentavam 3,78 e 3,09% (m/m) de N. Porém, é possível que haja ocorrido algum efeito negativo do PVP sobre o acúmulo de N, pois o KCl granulado apenas com PVP e areia proporcionou menores acúmulos de N quando comparado ao KCl comercial puro.

Ao estimar a quantidade de N-NH₃ volatilizada após aplicação de fertilizantes formulados a base de ácidos húmicos e ureia, Gurgel (2016) constatou diminuição nas perdas de até 38% com a adição de 5 e 10% de ácidos húmicos extraídos de turfa. A autora ainda

observou que o efeito dos ácidos húmicos na diminuição da volatilização de amônia foi maior quando os fertilizantes foram aplicados em solos de textura arenosa.

Avaliando a produção de biomassa do milho, em condições controladas durante o período de sessenta dias, Taufik et al. (2011) não verificaram efeito da adição de ácidos húmicos à ureia. Entretanto, foi constatada a maior retenção de íons NH_4^+ no solo quando foram adicionados ácidos húmicos à ureia.

Também é constatado na literatura o estímulo exercido pelas SH sobre a atividade das enzimas glutamina sintetase e glutamato sintase (Ertani et al., 2011) assim como maior acúmulo de N-NO_3^- em folhas de milho em função da aplicação de SH (Quaggiotti et al., 2004). Os autores ainda sugerem que o maior acúmulo de N em resposta à aplicação de AH, é devido à regulação da síntese de RNAm da principal H^+ -ATPase de milho, a Mha2.

O KCl granulado com AH extraído de turfa promoveu maior acúmulo de P nas raízes de plantas de milho quando comparado ao KCl comercial e ao granulado com AH extraído de vermicomposto (Figura 29). Porém, o KCl granulado com AH extraído de vermicomposto proporcionou maior acúmulo total de P em plantas de milho em relação ao KCl comercial. O KCl granulado com AH extraído de turfa não diferiu das demais fontes em relação ao acúmulo total.

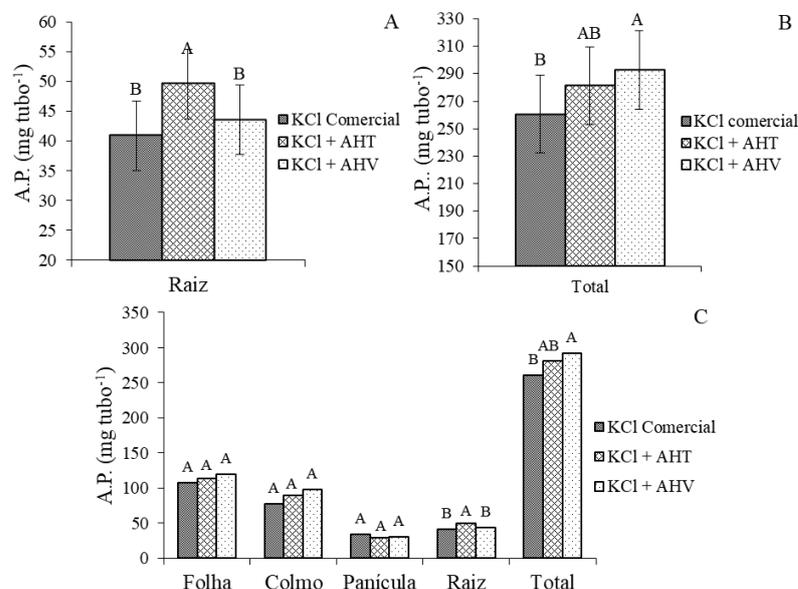


Figura 29. Acúmulo de fósforo (A.P.) nas raízes (A), acúmulo total (B) e nos diferentes órgãos (C) em plantas de milho em resposta a aplicação de diferentes fertilizantes: cloreto de potássio comercial, cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada órgão pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.

Ao incubar um Latossolo Vermelho com 332 mg kg^{-1} de AH, Maluf et al. (2018) verificaram uma redução de 16% na capacidade máxima de adsorção de fósforo, evitando a adsorção de uma massa de 198 kg ha^{-1} de fósforo na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

O solo utilizado no presente trabalho possuía textura arenosa. Sendo assim, o fenômeno da adsorção específica exerce pequena influência sobre a aquisição de P pelo vegetal. Foi constatada uma pequena diferença no teor de P entre os ácidos húmicos. Os ácidos húmicos extraídos de turfa e vermicomposto apresentaram 0,22 e 0,25 % (m m^{-1}) de P respectivamente. Essas concentrações são muito similares, não sendo uma justificativa

plausível para as diferenças. A hipótese mais aceitável para as diferenças encontradas no acúmulo de P pelas plantas de milho reside no efeito proporcionado pelos AH na cinética de absorção de nutrientes que, dependendo de sua estrutura, pode agir de maneira mais ou menos intensa.

A aplicação de KCl granulado com AH extraído de vermicomposto proporcionou maiores acúmulos de K nas folhas, na parte aérea total e no acúmulo total de potássio quando comparado ao KCl granulado com AH extraído de turfa (Figura 30). O KCl comercial não diferiu de nenhum dos fertilizantes granulados com AH em relação ao acúmulo de potássio.

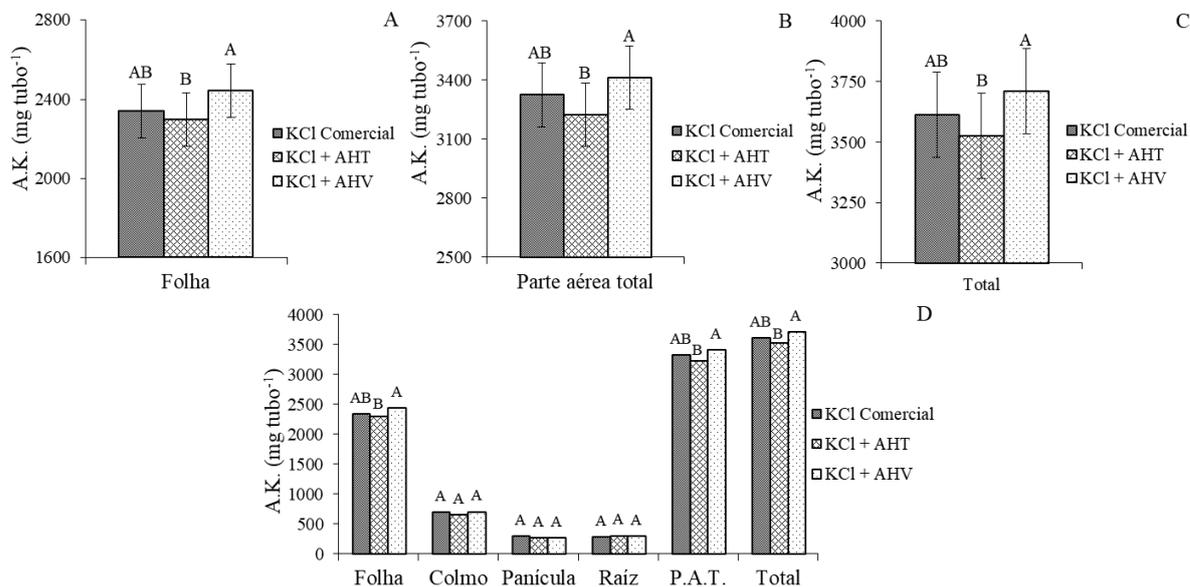


Figura 30. Acúmulo de potássio (A.K.) nas folhas (A), na parte aérea total (P.A.T.) (B), o acúmulo total (C) e o acúmulo de potássio em cada órgão vegetal (D). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.

No presente trabalho, se observa um efeito negativo do KCl granulado com AH extraído de turfa sobre a aquisição de potássio. Muito provavelmente esse efeito negativo ocorreu devido a alguma interação do PVP com componentes do fertilizante, do solo ou até mesmo com o vegetal. Como o PVP é um polímero, pode haver interações indesejadas com outros elementos.

Uma das principais alterações promovidas pelas SH no metabolismo vegetal é a hidrólise do ATP, devido ao estímulo sobre a atividade das bombas de prótons da plasmalema. Estas proteínas atuam no transporte ativo de H^+ do citosol para a o lado externo da célula. Devido ao aumento na diferença de potencial eletroquímico gerado através da plasmalema, o potássio pode ser absorvido passivamente, dependendo da concentração externa, numa maior velocidade (Taiz e Zeiger, 2013). Dobbss et al. (2006) verificaram acréscimos de 120 a 208% na atividade de H^+ -ATPase em raízes de milho com a aplicação de uma solução contendo 20 mg L^{-1} de C_{AH} .

Ao avaliar parâmetros cinéticos da absorção de K em resposta a aplicação de doses crescentes de substâncias húmicas extraídas de carvão mineral, Rosa et al. (2009) observaram a diminuição do $Imáx$, da $Cmín$ e do Km , com conseqüente redução da taxa de absorção de K na cultura do feijão, sendo a diminuição do $Imáx$ o parâmetro determinante para a redução. Porém, Costa (2001) observou maior absorção de K na cultura da cebola, nos tratamentos que receberam SH de vermicomposto comercial em comparação aos tratamentos que não

receberam. O autor justifica tal efeito pela mudança no balanço de cargas no citoplasma, pressupondo que as SH, ou partes componentes da sua estrutura, com caráter predominantemente aniônico, são absorvidas, aumentando a eletronegatividade no interior da célula, favorecendo assim a absorção de cátions.

4.5.7 Nutrientes disponíveis no solo

A Tabela 19 apresenta o resumo da análise de variância para pH, P disponível, do potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis, assim como para soma de bases trocáveis nos solo nas quatro camadas avaliadas. Ocorreu diferença estatística entre o tratamento adicional e o fatorial para o cálcio trocável na camada de 30-40 cm de profundidade e entre as concentrações de ácidos húmicos para o P disponível nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 0 a 40. Ainda de acordo com a Tabela 19, houve diferença entre as fontes de extração para o Mg trocável na camada de 0-10 cm de profundidade, assim como para a soma de bases trocáveis na mesma camada.

Tabela 19. Quadrados médios da análise de variância das análises químicas de terra realizadas após o cultivo da cultura do milho nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade e média das quatro profundidades.

FV	GL	Quadrado médio				Média
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	
pH do Solo						
FE	1	0,08ns	0,02ns	0,01ns	0,06ns	0,00ns
CAH	4	0,09ns	0,26ns	0,09ns	0,13ns	0,10ns
FE x CAH	4	0,12ns	0,24ns	0,31ns	0,19ns	0,18ns
Ad. x Fat.	1	0,00ns	0,00ns	0,17ns	0,17ns	0,04ns
Resíduo	20	0,21	0,24	0,26	0,24	0,20
CV (%)		7,09	7,64	7,91	7,73	6,92
Fósforo disponível						
FE	1	85,07ns	2,62ns	48,77ns	822,47ns	49,23ns
CAH	4	112,30*	206,61*	106,53ns	374,22ns	65,11*
FE x CAH	4	72,06ns	40,49ns	142,85ns	267,33ns	36,33ns
Ad. x Fat.	1	8,61ns	202,19*	29,72ns	152,97ns	0,03ns
Resíduo	20	22,5	12,77	73,96	166,24	15,96
CV (%)		5,38	3,88	8,95	13,51	4,30
Potássio Trocável						
FE	1	13,33ns	ln0,03ns	0,13ns	17,63ns	0,83ns
CAH	4	12,37ns	ln0,02ns	1,28ns	46,67ns	3,55ns
FE x CAH	4	7,50ns	ln0,03ns	3,72ns	45,13ns	5,42ns
Ad. x Fat.	1	12,41ns	ln0,00ns	2,05ns	21,89ns	4,15ns
Resíduo	20	13,55	ln0,03	3,29	34,71	8,07
CV (%)		12,58	5,70	10,20	24,99	12,29
Sódio Trocável						
FE	1	1,20ns	ln0,00ns	24,30ns	7,50ns	0,83ns
CAH	4	0,70ns	ln0,04ns	8,95ns	66,12ns	5,22ns
FE x CAH	4	1,37ns	ln0,11 ns	6,21ns	6,92ns	1,42ns
Ad. x Fat.	1	0,05ns	ln0,02ns	10,95ns	0,25ns	3,30ns
Resíduo	20	0,64ns	ln0,05	7,92	47,32	7,63
CV (%)		5,67	7,80	13,98	20,60	13,36

Continua...

Continuação da Tabela 19.

FV	GL	Quadrado médio				Média
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	
Cálcio Trocável						
FE	1	0,04ns	0,01ns	0,01ns	0,01ns	0,00ns
CAH	4	0,01ns	0,02ns	0,00ns	0,11*	0,01ns
FE x CAH	4	0,03ns	0,04ns	0,08ns	0,08ns	0,01ns
Ad. x Fat.	1	0,00ns	0,00ns	0,02ns	0,12*	0,00ns
Resíduo	20	0,22	0,01	0,03	0,03	0,01
CV (%)		4,54	5,21	7,35	5,95	2,98
Magnésio Trocável						
FE	1	0,21*	r0,00ns	r0,00ns	0,00ns	r0,02ns
CAH	4	0,03ns	r0,03ns	r0,02ns	0,15ns	r0,00ns
FE x CAH	4	0,02ns	r0,04ns	r0,03ns	0,02ns	r0,01ns
Ad. x Fat.	1	0,01ns	r0,00ns	r0,00ns	0,06ns	r0,00ns
Resíduo	20	0,03	r0,04ns	r0,03	0,08	r0,01
CV (%)		17,85	13,55	11,94	24,87	6,39
Soma de Bases Trocáveis						
FE	1	0,31*	ln0,00ns	ln0,00ns	0,00ns	ln0,00ns
CAH	4	0,04ns	ln0,01ns	ln0,01ns	0,15ns	ln0,00ns
FE x CAH	4	0,01ns	ln0,03ns	ln0,04ns	0,15ns	ln0,02ns
Ad. x Fat.	1	0,00ns	ln0,00ns	ln0,00ns	0,01ns	ln0,00ns
Resíduo	20	0,03	ln0,02	ln0,02	0,14	ln0,01
CV (%)		5,03	11,65	10,20	9,57	6,12

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo; r: dados transformados em $(x + 1)0,5$; ln: dados transformados em $\ln(x)$.

Não foi constatada diferença significativa nos valores de pH em resposta à aplicação dos fertilizantes. Ao aplicarem doses crescentes de AH (0, 50, 100, 150 e 350 mg de C kg⁻¹ de solo), afim de avaliar seu efeito tampão em três solos tropicais com diferentes valores de pH (4,8; 3,9 e 6,3), Hanafi e Salwa (1998) observaram que, na dose mais alta de AH (350 mg kg⁻¹ de C de solo) após um período de incubação de 30 dias, todos os solos apresentavam o mesmo valor de pH, indicando a capacidade anfotera desses ácidos no controle do pH do solo.

Houve diferença estatística entre as concentrações de AH nos teores de P disponível, porém essas diferenças foram pouco pronunciadas e com baixa correlação (Figura 31). Também foi constatada ligeira diferença entre as fontes de extração de AH nos teores de P disponível na profundidade de 10 a 20 cm. Nesta camada, o fertilizante cloreto de potássio proporcionou pequena redução nos valores de P disponível em comparação aos fertilizantes granulados com AH. De maneira geral, as diferenças foram pequenas.

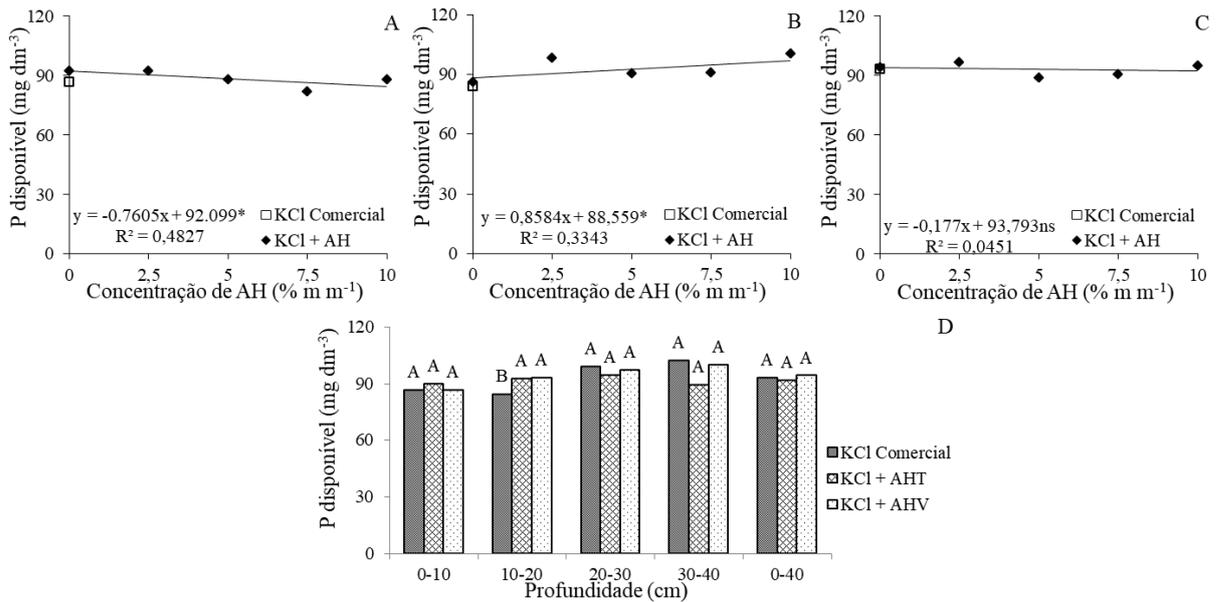


Figura 31. Fósforo disponível no solo em resposta à aplicação de fertilizantes com concentrações crescentes de ácidos húmicos nas camadas de 0 a 10 (A), 10 a 20 (B), 0 a 40 (C) e em resposta aos diferentes fertilizantes aplicados (D). *Regressões significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Foi constatado ao fim do experimento teores de muito altos de P disponível. Isso porque foi aplicada uma dose elevada de P antecedendo o plantio (1,3 g vaso⁻¹ de superfosfato triplo), em um solo de textura arenosa. Talvez essa seja a explicação para as diferenças encontradas no acúmulo de P pelas plantas não serem refletidas de maneira análoga no solo.

Não houve diferença entre os fertilizantes em relação ao potássio trocável no solo (Figura 32). Como a umidade máxima dos vasos não ultrapassou 70% da capacidade de campo, não houve percolação de água além dos 40 cm de profundidade do tubo. Sendo assim, não ocorreu perda de cátions por lixiviação, o que justifica a igualdade estatística entre os fertilizantes sobre o potássio trocável no solo.

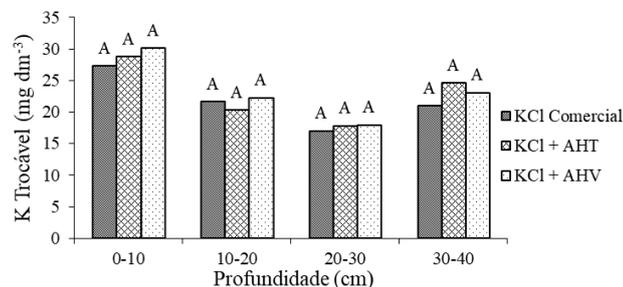


Figura 32. Potássio trocável nas quatro camadas de profundidade do solo após o cultivo da cultura do milho em resposta a aplicação dos fertilizantes: cloreto de potássio comercial; cloreto de potássio granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A adsorção de potássio depende da natureza da superfície de troca, que determina o coeficiente de seletividade, e da atividade iônica do K⁺ em relação aos demais cátions. Nas regiões adjacentes aos grânulos de fertilizantes potássicos aplicados no solo, a quantidade de íons K⁺ é geralmente maior que o número de sítios de adsorção eletrostática. Sendo assim, a

água volumétrica do solo é o atributo que controla a movimentação de K^+ , independente do mecanismo (fluxo de massa ou difusão), diferentemente das regiões mais distantes dos grânulos, onde quem comanda sua mobilidade é a capacidade de troca de cátions efetiva (Neves et al., 2009).

Não foi constatada diferença estatística entre os tratamentos, porém na camada de 0-10 cm, houve um ligeiro acréscimo no teor de K de acordo com a fonte aplicada. Observou-se que o KCl granulado com AH extraído de vermicomposto promoveu ligeiro aumento no acúmulo de K em relação ao KCl granulado com AH extraído de turfa. O KCl comercial foi o fertilizante que proporcionou o menor teor de K nessa camada do solo.

Resultados contrários foram encontrados por Barral (2015) que constatou influência de doses crescentes e de fontes de isolamento de AH sobre o teor de K no solo. O autor observou aumento linear do teor de K no solo em resposta à aplicação de doses crescentes de AH. Tal constatação pode ser atribuída ao conteúdo significativo de potássio existente nos ácidos húmicos.

Houve comportamento quadrático do Ca_2^+ trocável na camada de 30-40 cm de profundidade, sendo que os fertilizantes granulados com AH promoveram valores inferiores estatisticamente em relação ao KCl comercial (Figura 33). Tal constatação indica novamente uma possível interação entre os ácidos húmicos e o PVP. Pois do contrário, haveria um comportamento linear. Entretanto, outros estudos acerca da interação entre esses polímeros devem ser realizados para um melhor entendimento deste fenômeno.

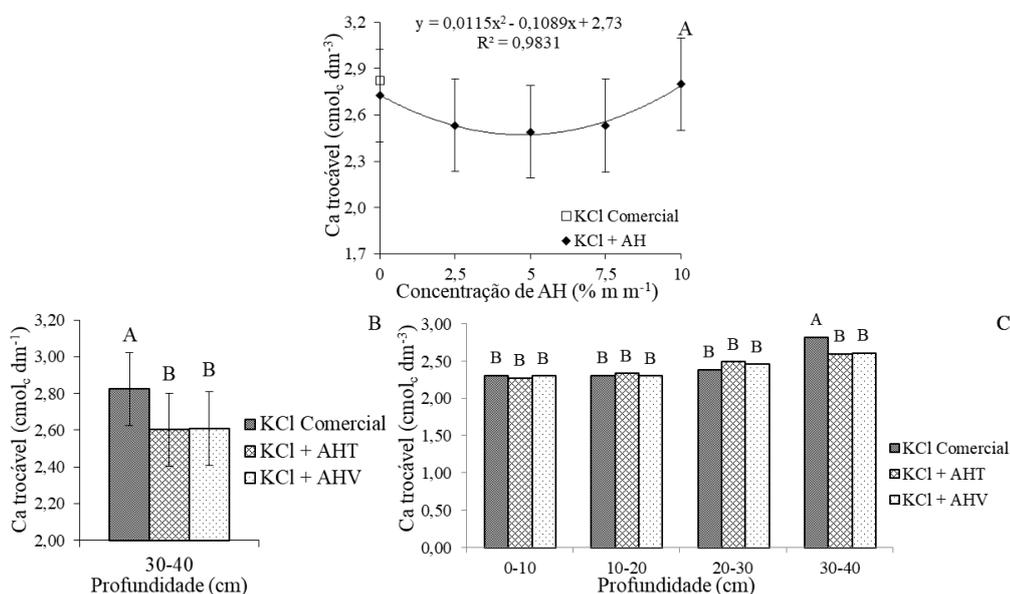


Figura 33. Análise de regressão (A), e valores de cálcio trocável na camada de 30-40 cm de profundidade (B), nas quatro camadas (C) e regressão do cálcio trocável médio das quatro camadas (D) em resposta a aplicação de cloreto de potássio comercial (KCl) e acrescido com ácido húmico extraído de turfa (KCl + AHT) ou de vermicomposto (KCl + AHV). Regressões significativas pelo teste F a 5% de probabilidade; Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.

Também foi constatado que os fertilizantes granulados com AH proporcionaram menores valores de Ca trocável em profundidade (0 a 40 cm). As hipóteses para tal são as de que os AH promoveram maior retenção de Ca nas camadas superficiais através de sua elevada CTC; e que os AH afetaram de forma positiva os parâmetros de cinética na absorção de Ca.

A aplicação de KCl granulado com AH extraído de vermicomposto promoveu maiores valores de magnésio trocável na camada de 0 a 10 cm de profundidade quando comparado aos demais fertilizantes (Figura 34).

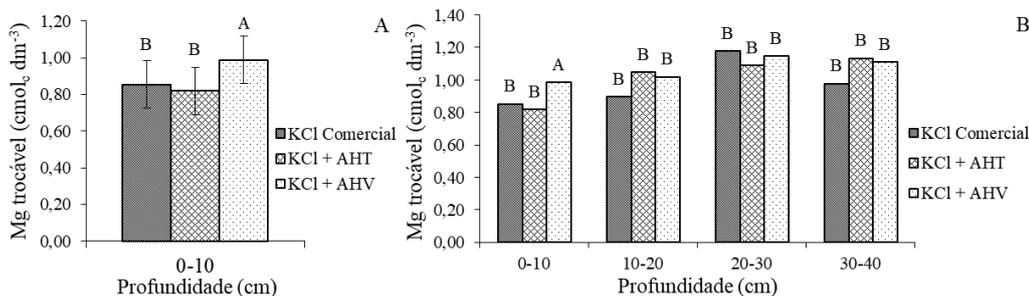


Figura 34. Magnésio trocável no solo na camada de 0 a 10 cm de profundidade (A) e nas quatro camadas avaliadas (B). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.

Segundo Inoue e Huang (1986), os ácidos orgânicos (AO), tanto os de baixo quanto os de alto peso molecular, podem atuar no aumento da disponibilidade dos cátions em solução. Normalmente, o Ca e o Mg aumentam em solução por ocasião da adição de ácidos orgânicos em solos com pH menor que 6,0.

A aplicação de KCl granulado com AH extraído de vermicomposto proporcionou maiores valores de soma de bases trocáveis na camada de 0-10 cm de profundidade em relação aos demais fertilizantes (Figura 35).

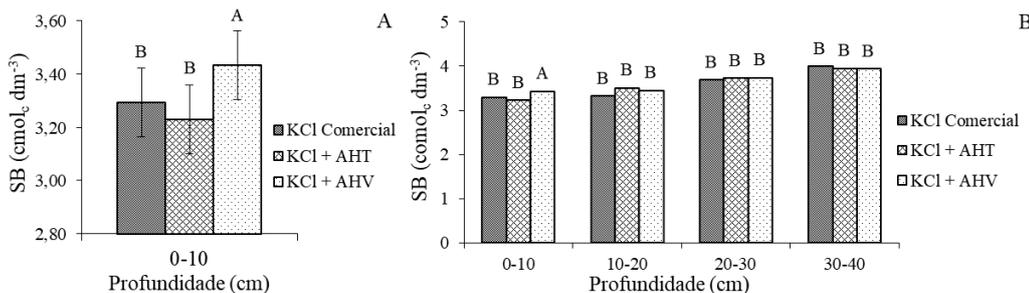


Figura 35. Soma de bases na camada se 0 a 10 cm de profundidade (A) em nas quatro camadas avaliada em função da aplicação dos fertilizantes: KCl comercial, KCl granulado com ácidos húmicos extraídos de turfa (KCl + AHT) e vermicomposto (KCl + AHV). Letras iguais não diferem entre si dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras verticais indicam a diferença mínima de significância.

Os efeitos dos ácidos húmicos são muito variáveis de acordo com o material de origem, do grau de pureza do mesmo e das condições em que este foi aplicado (Lima et al., 2011). Estudos vêm demonstrando que substâncias húmicas isoladas a partir de vermicomposto são, geralmente, aquelas que apresentam melhores resultados quando aplicadas nos cultivos (Rose et al., 2014).

Segundo Croué et al. (2003), as características químicas das substâncias húmicas possuem efeito marcante sobre a complexação de nutrientes. Kyziol et al. (2006) afirmam que o alto grau de seletividade das substâncias húmicas por certos metais sugere que eles coordenam diretamente com aqueles grupos funcionais, formando complexo de esfera interna,

muito embora a ligação entre metal e AH normalmente seja considerada como troca iônica entre H⁺ de grupos funcionais e os íons metálicos.

Ao avaliar as implicações da remoção da matéria orgânica humificada solúvel, Dobbss et al. (2008) constataram a diminuição substancial da capacidade de troca de cátions, assim como do poder tampão de carga do solo, sendo que as substâncias húmicas solubilizadas e retiradas do solo corresponderam a menos de 3% do C orgânico total.

Por possuir uma complexa estrutura, os mecanismos de interação entre os ácidos húmicos e argilominerais não são totalmente definidos. Porém, é possível que ocorra interação dos sítios aniônicos dos ácidos com as bordas do cristal, formação de pontes de hidrogênio na superfície da argila, adsorção nos espaços interlamelares ou ligações fracas do tipo van der Waals entre hidrogênio e os espaços de silanol (Varadachari et al., 1994). Com tantas interações, a mobilidade dos AH no solo é reduzida, o que justifica os maiores efeitos na camada de 0 a 10 cm de profundidade do solo no presente estudo.

4.6 CONCLUSÕES

A aplicação dos diferentes fertilizantes avaliados não influenciou de maneira pronunciada o desenvolvimento da cultura do milho até estágio fenológico VT, com a constatação de diferença irrelevante na germinação de plântulas e massa seca de raízes.

As diferenças mais pronunciadas no estado nutricional foram obtidas no acúmulo de P, onde o cloreto de potássio granulado com ácido húmico extraído de vermicomposto apresentou o melhor desempenho. Já para N e K, as diferenças encontradas foram pequenas sendo que os fertilizantes granulados obtiveram desempenho similar ao cloreto de potássio comercial.

Os parâmetros da fertilidade do solo foram pouco influenciados pela aplicação dos diferentes fertilizantes. De maneira geral, o cloreto de potássio granulado com ácido húmico extraído de vermicomposto promoveu ligeira melhora na fertilidade da camada de 0 a 10 cm de profundidade, quando comparado aos demais fertilizantes avaliados.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Em solos com elevada fertilidade, a adubação potássica, assim como seu parcelamento, não mostrou interferir de maneira considerável o desenvolvimento e nutrição da cultura do milho cultivada em vasos e em casa de vegetação.

Nas condições de solo e ambiente empregadas no presente trabalho, não foram encontradas diferenças relevantes entre os fertilizantes avaliados no desenvolvimento e nutrição do milho e nem em parâmetros da fertilidade do solo, havendo apenas uma ligeira superioridade na eficiência dos fertilizantes granulados a base de ácido húmico extraído de turfa e cloreto de potássio, porém apenas em algumas variáveis.

Torna-se necessária a avaliação dos fertilizantes aqui desenvolvidos em variadas condições de ambiente e de solo, com o cultivo de diferentes culturas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINREMI, O. O.; CHO, C. M. Phosphate transport in calcium-saturated systems: II Experimental results in a model system. **Soil Science Society of America Journal**. v. 55, p. 1282-1287, 1991.
- ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. Chemical changes during vermicomposting (*Eiseniafetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, p. 266-269, 1988.
- ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A.; BULL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 58, n. 1, p. 145-150, 2001.
- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; BULL, L.T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2437-2446, 2000.
- ARANCON, N. Q.; EDWARDS, C. A.; BABENKO, A.; CANNON, J.; GALVIS, P.; METZGER, J. D. Influence of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 39, p. 91-99, 2008.
- BALDOTTO, L. E. B.; BALDOTTO, M. A.; GIRO, V. B.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, L. P.; BRESSAN-SMITH, R. Desempenho do abacaxizeiro “Vitória” em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 979-990. 2009.
- BARRAL, U. M. **Efeito de fontes e doses de ácidos húmicos na produção do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2015, 57f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2015.
- BARROS, M. C. P.; PAULA, J. R.; REZENDE, M. O. O. Caracterização físico-química do ácido húmico de solos da ilha da Cananéia e de sua interação com Fe(III), Cu(II) e Cd(II). **Química Nova**, v. 17, p. 376-380, 1994.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., (Ed). Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais. **Gêneseis**, Porto Alegre, p. 9-26, 1999.
- BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BEVILAQUA, G. A. P.; BROCH, D. L.; POSSENTI, J. C.; VILELA, F. A. Posição do fósforo e potássio na adubação de sementes e no crescimento de plântulas de milho. **Revista Brasileira de Agronomia**, Pelotas, v.2, p. 87-92, 1996.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. **In:** BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed) Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 147-196.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. L. O.; FAÇANHA, A. R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre o desenvolvimento e metabolismo de plantas. **In:** CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, 2005. p. 224-243.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A. L.; FAÇANHA, A. R. Humic Acids Isolated from Earth worm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. **Plant Physiology**, v.130, p.1951-1957, 2002.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v51, n.10, p.1762-1772, 2016.

ÇIMRIN, K. M.; TURKMEN, Ö.; TURN, M.; TUER, B. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress on pepper seedling. **African Journal of Biotechnology**, Victoria Island, v.9, n. 36; 58-45p. 2010.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja doutor do seu milho, nutrição e adubação. **Arquivo do agrônomo nº 2, Potafos**, p. 1-9, 1995.

COELHO, M. C. Nutrição e adubação do milho. **In:** CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). A cultura do milho. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 132-158.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, segundo levantamento, novembro 2017 / Companhia Nacional de Abastecimento**. – Brasília: Conab, 2017.

COSTA, C. N. **Efeito das substâncias húmicas no desenvolvimento radicular da cebola, *Allium cepa* L., e na cinética de absorção de fósforo e potássio**. 2001, 51 f. Dissertação (Mestrado em) Universidade Federal de Pelotas, 2001.

CROUÉ, J. P.; BENEDETTI, M. F.; VIOLLEAU, D.; LEENHER, J. A. Characterization and copper binding of humic and nonhumic organic matter isolated from the South Platte River: Evidence for the presence of nitrogenous binding site. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 37, n. 2, p. 328-336, 2003.

CUNHA, T. J. F.; BASSOI, L. H.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L.; PETRERE, V. G. e RIBEIRO, P. R. A. Ácidos húmicos em solo fertirrigado no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1583-1592, 2009.

DAUR, I.; BAKHASHWAIN, A. A. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. **Pakistan Journal of Botany**. v. 45, p. 21-25, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário mineral 2015** / Departamento Nacional de Produção Mineral. – Brasília: DNPM, 2015.

DIEROLF, T. S.; ARYA, L. M.; YOST, R.S. Water and cation movement in an Indonesian Ultisol. **Agronomy Journal**. v. 89, p. 572-579, 1997.

DOBBSS, L. B. **Eletroquímica do horizonte superficial de Latossolos e caracterização de suas substâncias húmicas**. 2006, 86f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goitacazes.

DOBBSS, L.; CANELLAS, L. P.; ALLEONI, L. F. R.; REXENDE, C. E.; FONTES, M. P. F.; VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de Latossolos brasileiros após a remoção da matéria orgânica humificada solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p.985-996, 2008.

DOBBSS, L.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; AGUIAR, N. O.; PERES, L. E. P.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicomposto on plant root growth. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 127, p. 1-10, 2010.

DONG, L.; CÓRDOVA-KREYLOS, A. L.; YANG, J. YUAN, H.; SCOW, K. M. Humic acids buffer the Effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. **Soil and Biochemistry**, v. 41, p. 1612-1621, 2009.

ELBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. Campinas: **Bragantia**, v.70, n. 1, p. 157-165, 2011.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p. 393-402, 2007.

ERNANI, P. R.; DIAS; P. R.; DIAS, J.; FLORES, J. A. Annual additions of potassium to the soil increased appleyeld in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 33, p. 1291-1304, 2002.

ERTANI, A.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; RIGHI, V.; NARDI, S. A. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. Metabolism. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 22, p. 11940-11948, 2011.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1301-1310, 2002.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: **Agropecuária**, p. 360. 2000.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de Nutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa. 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 32, n. 4, p. 1549-1561, 2008.

GARCÍA, A. C. **Frações sólidas humificadas de vermicomposto: seus efeitos em plantas e capacidade para a retenção de metais pesados**. 2013, 130f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2013.

GURGEL, G. C. S. **Avaliação de fertilizantes nitrogenados com base na ureia granulada com ácidos húmicos e zeólita**. 2016, 67f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2016.

HANAFI, M. M.; SALWA, H. C. Cadmium and Zinc in acid tropical soils: II. Influence of humic acid addition on soil properties and their adsorption. *Com. Soil Sci. and Pant analysis*, v. 29, p. 1933-1947, 1998.

IHSS – **International Humic Substances Society (2014) Products**. Disponível em <http://www.ihss.gatech.edu/products.html>. Acessado em: 4 de dezembro de 2017.

INOUE, K.; HUANG, P. M. Influence of selected organic ligands on the formation of allophane and imogolite. *Soil Science Society American Journal*. v. 50, p. 1623-1633. 1986.

ISHIGURO, M.; SONG, K. C.; YUITA, K. Ion transport in Allophanic Andisol under the influence of variable charge. *Soil Science Society of America Journal*. v. 56, p. 1789-1793, 1992.

JOB, A. L. G. **Doses e parcelamento da adubação potássica na cultura da batata (*Solanumtuberosum* L.)**. 2014, 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu. 2014.

KARLEN, D. L.; SADLER, E. J.; CAMP, C. R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. *Agronomy Journal*, Madisson, v. 79, p. 649-656, 1897.

KYZIOL, J.; TWARDOWSKA, I.; SCHMITT-KOPPLIN, P. The role of humic substances in chromium sorption onto natural organic matter (peat). *Chemosfere*, v. 36, n. 11, p. 1974-1982, 2006.

KORDEL, W.; DASSANAKIS, M.; LINTELMANN, J.; PADBERG, S. The importance of natural organic matter for environmental process in waters and soils. *Pure and Applied Chemistry*, v. 69, p. 1571-1600, 1997.

LEAL, J.F.L.; VALDERRAMA, M.; KENEKO, F.H.; LEAL, U.A.S.; PERIN, A.; LUCHESE, K.U.O. Produtividade da Soja de Acordo com Diferentes Doses de Cloreto de

Potássio Revestido ou não com Polímeros. **Global Science and Technology**. v. 08, n. 01. Rio Verde. p. 19-30, 2015.

LIMA, A. A.; ALVARENGA, M. A. R.; RODRIGUES, L.; CARVALHO, J. G. Leaf nutrient content and yield of tomato grown in different substrates and doses of humic acids. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 63-9, 2011.

LIU, C. H.; COOPER, R. J.; BOWMAN, D. C. Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. **HorScience**, v.33, p.1023-1025, 1998.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípio e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 319, 1997.

MALUF, H. J. G. M.; SILVA, C. A.; CURI, N.; NORTON, L. D.; ROSA, S. D. Adsorption and availability of phosphorus in response to humic acid rates in soils limed with CaCO₃ or Mg CO₃. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 42, n. 1, p. 7-20. 2018.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press. p. 889, 1997.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of Plant Nutrition. **Berne**. International Potash Institute, p. 593, 1978.

MEURER, E. J.; Potássio. In: FERNANDES, M., S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. 2006. p. 2-25.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios a longa duração – experiências brasileiras. **In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O.; USHERWOOS, N. R. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982a. 556p.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato / Instituto Internacional da Potassa, 1982b. p. 79 (Boletim Técnico, 2).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, p. 729, 2006.

NANNIPIERI, P., GREGO,S.; DELL'AGNOLA, G.; NARDI, S. Proprietà biochimiche e fisiologiche della sostanza organica. **In: P. NANNIPIERI (Ed.). Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici, ecologici y selvicolurali**. Bologna: Patron, 1993. p. 67-68.

NASCIMENTO, M; MONTE, M. B. DE M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Agrominerais – Potássio, **In: LUZ, ADÃO B.; LINS, FERNANDO A. F. (Ed.). Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2008.p.175-209.

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**. vol. 33, n. 1, p. 25-32. 2009.

NEVES, L. S. **Influência de doses e da localização do cloreto de potássio na germinação de milho e na difusão do K em solos.** 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade estadual de Santa Catarina, Lages. 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. **In:** NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUSSIO, L. G. Milho e sorgo para a produção de silagem. **In:** Volumosos para bovinos, 2., FEALQ, Piracicaba, 1995. p. 75-178.

OLSEN, S. R. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. **In:** PIERRE, W.H.; NORMAN, A.G. (Eds). Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition. New York, Academic Press, 1953. p. 89-122 (Agronomy, v.4).

OSAKI, F. **Calagem e adubação.** 2. ed. Campinas: 1991. p. 553.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; CERQUEIRA LUZ, P. H. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 34, n. 4, p. 1137-1146, 2010.

OUYANG, D.; MACKENZIE, A.F.; FAN, M. Phytotoxicity os bandedurea amended with triple superphosphate and potassium chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.734-739, 1998.

OVERMAN, A. R.; WILSON, D. M.; VIDAK, W.; ALLANDS, M. N.; PERRY JUNIOR, T.C. Model for partitioning of dry matter and nutrients in corn, **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 5, p. 958-968, 1995.

PETRONI, S. L. G.; PIRES, M. A. F.; MUNITA, C. S. Adsorção de zinco e cádmio em colunas de turfa. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 477-481, 2000.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M.; MONTEIRO, M. M. S.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 372-382, 2016.

PINHEIRO, G. L.; SILVA, C. A.; FURTINI NETO, A. E. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentrações de C-ácido húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 34, n. 4, p. 1217-1229, 2010.

PINTON, R.; CESCO, S.; IACOLLETI, G.; ASTOLFI, S.; VARANINI, Z. Modulation of nitrateuptake by water-extractable humic substances: involvementof root plasma membrane H⁺-ATPase. **Plant Soil**, v. 215, p. 155-163, 1999.

PRETTY, K. M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZZILI, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.). **Potássio na Agricultura Brasileira.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), p. 177-194. 1982.

QUAGGIOTTI, S.; RUPERTI, B.; PIZZEFUELLO, D.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLLI, V.; MARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.) **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p. 803-813, 2004.

RABÊLO, F. H. S.; REZENDE, A. V.; RABELO; C. H. S.; AMORIM, F. A. Características agronômicas e fisiológicas do milho submetido a adubações com o potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 635-643, 2013.

RAIJ, B. VAN. Disponibilidade de potássio em solos do Brasil. **In: Potássio na Agricultura Brasileira**, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, p. 67-76. 1982.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RIBEIRO, M. C. C.; MARQUES, B. M.; AMARRO FILHO, J. Efeito da salinidade na germinação de sementes de quatro cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.) **Revista Brasileira de Sementes**. v. 23, n. 1, p. 281-284, 2001.

RODRIGUES, M. A. C.; BUZZETI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 2, p. 127-133, 2014.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 959-967, 2009.

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. **Advances in agronomy**, v. 124, p. 37-89. 2010.

ROSOELM, 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**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.

RUAN, J.; WU, X.; HARDTER, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, p. 47-52, 1999.

RUAN, J.; WU, X.; YE, Y.; HARDTER, R. Effect of potassium, magnesium and sulphur applied in different forms of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia sinensis* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 76, p. 389-396, 1998.

SANCHES, S. M.; CAMPOS, S. X.; VIEIRA, E. M. Caracterização das frações das substâncias húmicas de diferentes tamanhos moleculares. **Eclética Química**. São Paulo. v. 32. p. 49-56, 2007.

SANGOI, L. ERNANI, P. R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V. P.; PICOLI, G. J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 8, n. 2, p. 187-197, 2009.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; BATISTA, L. S.; BARROS, D. L.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M. Efeito da aplicação de ureia e de cloreto de potássio por fertirrigação

na vazão dos emissores e em parâmetros químicos do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. V. 10, n. 5, Fortaleza, p. 990-998, 2016.

SCHNITZER, M.; KHAN, S. U. **Humic substances in the environment**. New York: Marcel Dekker, p. 1-55. 1972.

SHAW, R. H. Climate requirents, **In**: Corn and corn improvement. Madson: American Society of Agronomy. ASA Agronomy, v. 18. p. 591-623, 1977.

SILVA, A. C.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; DOBBSS, L. B.; AGUIAR, N. O.; FRADE, D. A. R.; REZENDE, C. E.; PERES, L. E. P. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1606-1617, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS N. F.; FONTES, R. L. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1017, 2007.

SILVA, M. A. G; BOARETTO, A.E.; MELO, A.M.T.; FERNANDES, H. G.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do nitrogênio e potássio no crescimento e produção de pimentão de cultivado em ambiente protegido. **In**: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, Caxambu, 1998. Anais. Lavras: SBCS, 1998. p. 723.

SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 11, p. 1269-1276, 1993.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; CHIAVEGATO, E. J.; SABINO, J. C. Estudo da adubação potássica no algodoeiro. **Bragantia**. v. 43, n. 1, p. 111-124, 1984.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 2004. 277p.

STAFANATO, J. B. **Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*)**. 2009, 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2009.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2ed. USA: John Wiley & Sons, p. 496. 1994.

TAHIR, M. M.; KHURSHID, M.; KHAN, M.Z. ABBASI, M.K.; KAZMI, M.H. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. **Pedosphere**, v. 21, n. 1, p. 124-131. 2011.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Artmed, Porto Alegre, 5 ed. 2013. 721p.

TAUFIK, M. Y. M. AHMED, O. H.; MUHAMAD, A. M. N. Effect of amending urea with humic acids and acid sulphate on biomass production of Masmadu (*Zea mays* L.) and selected soil chemical properties. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 6, n. 20, p. 4690-4694, 2011.

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

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 2017.

TREVISAN, S.; PIZZEGYELLO, D.; REPERTI, B.; FRANCISCO, O.; SASSI, A.; PALME, K.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA 19 gene and DR5 synthetelemento in *Arabidopsis*. **Plant Biology**, Berlin, v. 12, p. 604-614, 2010.

VAN STRAATEN, P.; **Agrogeology: The use of rocks for crops**. Ed: Enviroquest Ltd. p. 440. Cambridge, ON, 2007.

VARADACHARI, C.; MONDAL, A. H.; NAYAK, D. C.; GHOSH, K. Clay-humus complexation: effect of pH and the nature of bonding. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 26, p. 1145-1149. 1994.

VAUGHAN, D.; MALCOLM, R. E. Influence of humic substances on growth and physiological process. **In: VAUGHAN, D; MALCOLM, R. E. (eds.) Soil Organic Matter and Biological Activity**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 37-75. 1985.

VERLINDEN, D.; PYCKE, B.; MERTENS, J.; DEBERSAQUES, F.; VERHEYEN, K.; BEART, G.; BRIES, J.; HAESAERT, G. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 32, p. 1407-1426, 2009.

VIANA, M. V. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2007.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Manejo de solo para cultura do milho. **In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). A cultura do milho**. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 100-130.

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de Liberação Controlada Chega Como Solução. **Revista Campo e Negócios**, v. 41, p. 4-8, 2004.

WILLIAMS, K. A.; NELSON, P. V. Using precharged zeolite as a source of potassium and phosphate in a silless container medium during potted chrysanthemum production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, n. 5, p. 703-708, 1997.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L.; **Potássio na Agricultura Brasileira**. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 2005. 841p.

ZALLER, J. G. Vermicompost in seeding potting media can affect germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. **European Journal of Soil Biology**. v. 43, p. 332-336, 2007.