

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E BALANÇO  
NUTRICIONAL NA PLANTA DE MILHO  
FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E  
CLORETO DE POTÁSSIO**

Autor: Fernando Rodrigues Cabral Filho  
Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

RIO VERDE - GO  
Agosto – 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E BALANÇO  
NUTRICIONAL NA PLANTA DE MILHO  
FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E  
CLORETO DE POTÁSSIO**

Autor: Fernando Rodrigues Cabral Filho  
Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO  
Agosto – 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

CC117d Cabral Filho, Fernando Rodrigues  
Desempenho agrônômico e balanço nutricional na  
planta de milho fertirrigado com vinhaça concentrada  
e cloreto de potássio / Fernando Rodrigues Cabral  
Filho; orientador Frederico Antonio Loureiro Soares;  
co-orientador Marconi Batista Teixeira. -- Rio  
Verde, 2019.  
106 p.

Dissertação ( em Mestrado em Ciências Agrárias -  
Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio  
Verde, 2019.

1. Zea mays L.. 2. Adubação potássica. 3. Acúmulo  
de nutrientes. 4. Reclicagem de nutrientes. 5.  
Produção de grãos. I. Soares, Frederico Antonio  
Loureiro, orient. II. Teixeira, Marconi Batista, co-  
orient. III. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: FERNANDO RODRIGUES CABRAL FILHO

Matrícula: 20172023101I0012

Título do Trabalho: DESEMPENHO AGRONÔMICO E BALANÇO NUTRICIONAL NA PLANTA DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 28/08/2019

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

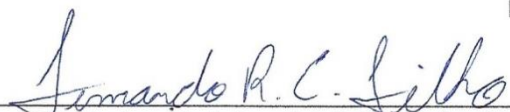
O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 20/08/2019  
Local Data

  
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

  
Assinatura do(a) orientador(a)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS-AGRONOMIA

DESEMPENHO AGRONÔMICO E BALANÇO  
NUTRICIONAL NA PLANTA DE MILHO FERTIRRIGADO  
COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE  
POTÁSSIO

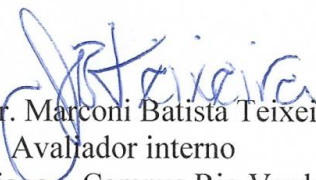
Autor: Fernando Rodrigues Cabral Filho  
Orientador: Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de  
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

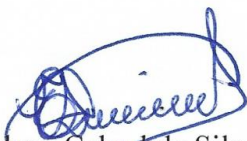
APROVADA em, 01 de agosto de 2019.



Prof. Dr. Cicero Teixeira Silva Costa  
Avaliador externo  
IFMS – Campus Naviraí



Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira  
Avaliador interno  
IF Goiano – Campus Rio Verde



Dr. Edson Cabral da Silva  
Avaliador interno  
IF Goiano – Campus Rio Verde



Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares  
Presidente da banca  
IF Goiano – Campus Rio Verde

**DEDICO**

A Deus,

Pela vida, saúde e força nos momentos de dificuldades.

**OFEREÇO**

À minha família,

À minha querida mãe, Liamar Azambuja da Silva, por todo amor e confiança que depositou em mim e, por apesar dos sacrifícios não desistir de apoiar à minha educação. Às minhas irmãs, Tatiane Silva Rodrigues Cabral e Juliana Silva Rodrigues Cabral, por estarem ao meu lado sempre que precisei.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos, de maneira especial, aos amigos parceiros e colegas de curso Gustavo da Silva Vieira, Fernando Nobre Cunha, Cláudio Carvalho, Nelmício Furtado da Silva e aos colegas do Laboratório de Hidráulica e Irrigação (grupo de pesquisa AGRICE) Laura Campos, Wilker Alves, Leonardo Rodrigues Dantas e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância. Em especial, a minha namorada Daniely Karen Matias Alves, por estar ao meu lado sempre que precisei desde o início desta caminhada, por todo carinho, atenção e compreensão.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria etc.), ao IFGoiano – *Campus* Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Sores, Marconi Batista Teixeira e Leonardo Názario Silva dos Santos, por todo o apoio e orientação e ensinamentos ao longo da execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada.

Aos funcionários de todos Departamento da Instituição, pela atenção e colaboração nos momentos em que necessitei de auxílio para continuar nesta caminhada.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa de estudo, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

FERNANDO RODRIGUES CABRAL FILHO, filho de Liamar Azambuja da Silva e Fernando Rodrigues Cabral, nasceu no dia 24 de junho de 1995, na cidade de Ituiutaba, Minas Gerais.

No mês de fevereiro de 2011, iniciou no curso de Técnico em Agropecuária no Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, finalizando em dezembro de 2012.

Em fevereiro de 2013, ingressou no curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, graduando-se em agosto de 2017.

Em 2013, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) na área de Irrigação e Drenagem, como bolsista (PIBIC), sob a orientação dos Professores Dr. Marconi Batista Teixeira e Frederico Antonio Loureiro Soares, até a conclusão da graduação em 2017.

Em agosto de 2017, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – *Campus* de Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, concluindo em agosto de 2019.



## ÍNDICE GERAL

<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>14</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>18</b>
1.1 Referências bibliográficas .....	21
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
2.1 Objetivo Geral.....	24
2.2 Objetivos Específicos.....	24
<b>3 CAPÍTULO I</b> .....	<b>25</b>
<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO DO MILHO GRÃO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO</b> .....	<b>25</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>25</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
3.2.1 Características e Localização da Área Experimental .....	28
3.2.3 Delineamento Experimental.....	30
3.2.4 Implantação do experimento .....	30
3.2.5 Correção e adubação do solo.....	31
3.2.6 Aplicação dos tratamentos .....	31
3.2.7 Variáveis analisadas .....	32
3.2.7.1 Variáveis morfológicas .....	32
3.2.7.2 Teores de clorofilas .....	32
3.2.7.3 Taxas de crescimento .....	32
3.2.8 Análises Estatísticas .....	34
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
3.3.1 Parâmetros biométricos .....	34
3.3.2 Taxas de crescimento .....	43
<b>3.4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>

<b>4 CAPÍTULO II .....</b>	<b>50</b>
<b>PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E GRÃOS DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO.....</b>	<b>50</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>50</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
4.2.1 Características e Localização da Área Experimental .....	52
4.2.2 Caracterização do Solo.....	54
4.2.3 Delineamento Experimental.....	55
4.2.4 Implantação do experimento .....	55
4.2.5 Correção e adubação do solo.....	55
4.2.6 Aplicação dos tratamentos .....	56
4.2.7 Variáveis analisadas .....	57
4.2.7.1 Acúmulo de matéria seca .....	57
4.2.7.2 Componentes de Produção.....	57
4.2.7.3 Índice de eficiência agrônômica e econômica .....	58
4.2.8 Análises Estatísticas.....	60
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>60</b>
4.3.1 Produção de matéria seca .....	60
4.3.2 Componentes de produção e produtividade .....	65
4.3.3 Eficiência técnica e econômica dos adubos .....	68
<b>4.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>71</b>
<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>5 CAPÍTULO III.....</b>	<b>75</b>
<b>BALANÇO NUTRICIONAL DE MACRONUTRIENTES NA PLANTA DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO .....</b>	<b>75</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>75</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>77</b>
5.2.1 Características e Localização da Área Experimental .....	77

5.2.2 Caracterização do Solo.....	79
5.2.3 Delineamento Experimental.....	80
5.2.4 Correção e adubação do solo.....	81
5.2.5 Implantação do experimento.....	81
5.2.6 Aplicação dos tratamentos.....	82
5.2.6 Variáveis analisadas.....	83
5.2.6.1 Estado nutricional da planta.....	83
5.2.6.2 Teor e acúmulo de macronutrientes na colheita.....	84
5.2.6.3 Extração, exportação e partição dos macronutrientes.....	84
5.2.7 Análises Estatísticas.....	85
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>85</b>
5.3.1 Estado nutricional: Macronutrientes.....	85
5.3.2 Acúmulo, extração e exportação de macronutrientes.....	88
5.3.3 Particionamento dos macronutrientes no tecido vegetal.....	95
<b>5.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

### **CAPÍTULO I - CRESCIMENTO VEGETATIVO DO MILHO GRÃO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO**

- Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade..... 29
- Tabela 2.** Caracterização físico-química da vinhaça utilizada no estudo..... 31

### **CAPÍTULO II - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E GRÃOS DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO**

- Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade..... 54
- Tabela 2.** Caracterização físico-química da vinhaça utilizada no estudo..... 56

### **CAPÍTULO III - BALANÇO NUTRICIONAL DE MACRONUTRIENTES NA PLANTA DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO**

- Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade..... 80
- Tabela 2.** Caracterização físico-química da vinhaça utilizada no estudo..... 84

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I - CRESCIMENTO VEGETATIVO DO MILHO GRÃO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO

<b>Figura 1.</b>	Dados meteorológicos do município de Rio Verde, Goiás e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).....	29
<b>Figura 2.</b>	Período antes (A) e após o desbaste (B) das plantas.....	31
<b>Figura 3.</b>	Altura de planta (AP) (A e B) e comprimento da folha (CF) (C e D) aos 30 e 86 dias após a semeadura (DAS) e, diâmetro de colmo (DC) do milho aos 58 e 86 DAS (E e F) em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	35
<b>Figura 4.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o diâmetro de colmo do milho (DC) aos 30 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	36
<b>Figura 5.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o número de folhas (NF) aos 86 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e, largura de folha (LF) do milho aos 30 (C e D) e 86 DAS (E e F), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	37
<b>Figura 6.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a área foliar do milho (AF) aos 86 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	39
<b>Figura 7.</b>	Clorofila <i>total</i> (A) aos 86 dias após a semeadura (DAS) em função das doses de potássio e clorofila <i>b</i> (B) aos 30 DAS em função das fontes de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	40
<b>Figura 8.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a clorofila <i>b</i> (CLR <i>b</i> ) no milho aos 86 dias após a semeadura, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	41
<b>Figura 9.</b>	Leitura SPAD na folha de milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) em função das doses (A) e fontes (B) de potássio e, desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a leitura SPAD na folha de milho aos 58 (C e D) e 86 (E e F) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019...	42
<b>Figura 10.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a área foliar	43

específica (AFE) (A e B), razão de área foliar (RAF) (C e D) e o índice de área foliar (IAF) (E e F) da planta de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....

- Figura 11.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a taxa de assimilação líquida (TAL) (A e B) e taxa de crescimento da cultura (TCC) (C e D), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..... 45

## **CAPÍTULO II - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E GRÃOS DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO**

- Figura 1.** Localização do experimento na área do IFGoiano – Campus Rio Verde..... 53
- Figura 2.** Dados meteorológicos do município de Rio Verde, Goiás e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19)..... 54
- Figura 3.** Aplicação do cloreto de potássio (A e B) e da vinhaça (C e D)..... 56
- Figura 4.** Matéria seca do colmo (MSC) aos 30 (A) e 58 (B) dias após a semeadura (DAS), matéria seca das folhas aos 58 DAS (C) e matéria seca da parte aérea (MSPA) do milho aos 58 DAS (D), em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..... 61
- Figura 5.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a matéria seca das folhas (MSF) aos 30 (A e B) e 86 (C e D) dias após a semeadura (DAS), matéria seca do colmo (MSC) aos 86 DAS (E e F) e matéria seca da parte aérea (MSPA) do milho aos 30 (G e H) e 86 (I e J) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..... 62
- Figura 6.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a relação matéria seca do sabugo/matéria seca da parte aérea (MSSBG/MSPA) da planta de milho aos 114 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..... 65
- Figura 7.** Número de espigas (NESP) (A), massa seca de grãos (MSG) e massa seca de grãos por espiga (MSGESP) (B) de milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..... 66
- Figura 8.** Produtividade de grãos de milho (PROD) e quantidade de sacas produzidas por hectare (SCHA) em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..... 66

<b>Figura 9.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a massa seca do sabugo (MSSBG) do milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	67
<b>Figura 10.</b>	Índice de colheita (IC) do milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	68
<b>Figura 11.</b>	Máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE) das fontes de potássio (vinhaça concentrada – VC e cloreto de potássio – KCl) em função das doses de potássio aplicadas (A) e, produção relativa das fontes de potássio em relação a quantidade de potássio aplicada (B)...	69
<b>Figura 12.</b>	Produção relativa da vinhaça concentrada em relação a produtividade de grãos obtida pelo cloreto de Potássio (A) e, índice de eficiência agrônômica da vinhaça concentrada (B).....	70

### **CAPÍTULO III - BALANÇO NUTRICIONAL DE MACRONUTRIENTES NA PLANTA DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO**

<b>Figura 1.</b>	Localização do experimento na área do IFGoiano – Campus Rio Verde.....	79
<b>Figura 2.</b>	Dados meteorológicos do município de Rio Verde, Goiás e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).....	80
<b>Figura 3.</b>	Croqui do delineamento experimental.....	81
<b>Figura 4.</b>	Período antes e após o desbaste das plantas.....	82
<b>Figura 5.</b>	Aplicação do cloreto de potássio e da vinhaça.....	83
<b>Figura 6.</b>	Teor de potássio (K) (A) e cálcio (Ca) (B) na parte aérea do milho no florescimento em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	87
<b>Figura 7.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o teor de magnésio (Mg) na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	88
<b>Figura 8.</b>	Acúmulo de potássio (K), nitrogênio (N) e cálcio (Ca) na palhada do milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	90
<b>Figura 9.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o acúmulo de enxofre (S) na palhada do milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019..	91

<b>Figura 10.</b>	Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S) nos grãos de milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	92
<b>Figura 11.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o acúmulo de potássio (K) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019...	92
<b>Figura 12.</b>	Acúmulo total de nitrogênio (N) em função das doses (A) e, acúmulo total de enxofre (S) na planta de milho em função das doses (B) e fontes (C) de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	93
<b>Figura 13.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o acúmulo total de fósforo (P) (A e B), magnésio (Mg) (C e D) e potássio (K) (E e F) na planta de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	95
<b>Figura 14.</b>	Particionamento do acúmulo de nitrogênio (N) (A), fósforo (P) (B), cálcio (Ca) (C) e magnésio (Mg) (D) na planta de milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	97
<b>Figura 15.</b>	Particionamento do acúmulo de potássio (K) na planta de milho em função das doses (A) e das fontes (B) de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	98
<b>Figura 16.</b>	Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o particionamento do acúmulo de enxofre (S) na palhada (PL) (A e B) e nos grãos (G) (C e D) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.....	99



## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
AP	Altura de planta
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de troca catiônica
DC	Diâmetro de colmo
H	Hidrogênio
ha	Hectare
K	Potássio
L	Litros
Mg	Magnésio
M. O.	Matéria orgânica
pH	Potencial de hidrogênio
V%	Saturação por bases
g	Gramas
%	Porcentagem
cm <sup>2</sup>	Centímetro quadrado
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
mg dm <sup>-3</sup>	Miligrama por decímetro cúbico
m	Metros
mm	Milímetros
°C	Graus Celsius
LVdf	Latossolo Vermelho distroférico
Prof.	Profundidade
S	Enxofre
Na	Sódio
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Cu	Cobre
Zn	Zinco
B	Boro
SB	Soma de bases
m%	Saturação por alumínio
kg	Kilograma
Ds	Densidade do solo
DAS	Dias após a semeadura
T	Tonelada
N	Nitrogênio
M.S.	Matéria seca
NF	Número de folhas
CF	Comprimento da folha
LF	Largura da folha
AF	Área foliar
CLRa	Clorofila <i>a</i>
CLRb	Clorofila <i>b</i>
CLRt	Clorofila <i>total</i>

---

SPAD	Soil Plant Analysis Development
TCA	Taxa de Crescimento Absoluto
TCR	Taxa de Crescimento Relativo
TAL	Taxa Assimilatória Líquida
AFE	Área Foliar Específica
RMF	Razão de Massa Foliar
RAF	Razão de Área Foliar
IAF	Índice de Área Foliar
TCC	Taxa de Crescimento da Cultura
IC	Índice de Colheita
MSF	Matéria seca das folhas
MSC	Matéria seca do colmo
MSPA	Matéria seca da parte aérea
D	Dose
F	Fonte
CESP	Comprimento de espiga
DESP	Diâmetro de espiga
NFG	Número de fileiras de grãos
NGF	Número de grãos por fileira
CSBG	Comprimento de sabugo
MSG	Massa seca de grãos
MSGESP	Massa seca de grãos por espiga
PROD	Produtividade de grãos
SCHA	Sacas por hectare
TG	Tamanho do grão
MET	Máxima eficiência técnica
MEE	Máxima eficiência econômica
T	Valor do insumo
W	Valor do produto
IEA	Índice de eficiência agrônômica
P	Fósforo
AC <sub>PL</sub>	Acúmulo do nutriente na palhada
T <sub>PL</sub>	Teor do nutriente na palhada
AC <sub>G</sub>	Acúmulo do nutriente nos grãos
T <sub>G</sub>	Teor do nutriente nos grãos
AC <sub>T</sub>	Acúmulo total do nutriente na planta
P <sub>N</sub>	Particionamento do nutriente na palhada e grãos
AC <sub>PL/G</sub>	acúmulo do nutriente na palhada ou nos grãos
EXT	Extração do nutriente pelo milho
EXP	Exportação do nutriente pelos grãos
KCl	Cloreto de potássio
VC	Vinhaça concentrada

---

## RESUMO

CABRAL FILHO, F. R. **Desempenho agrônômico e balanço nutricional na planta de milho fertirrigado com vinhaça concentrada e cloreto de potássio**. 2019. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, Brasil.

Devido à procura por fontes energéticas em substituição às oriundas do petróleo, tem-se aumentado o consumo dos biocombustíveis, tendo o etanol destaque neste cenário. Atualmente, a matriz produtiva de etanol no Brasil se baseia na cana-de-açúcar e dentre as biomassas que podem ser utilizadas como alternativa destaca-se o milho. Dentre os coprodutos oriundos do processamento da cana-de-açúcar, a vinhaça merece destaque, sendo utilizada em larga escala na fertirrigação das lavouras como fonte orgânica de potássio. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar o desenvolvimento vegetativo, a produção de grãos do milho sequeiro, além do balanço nutricional de macronutrientes na planta, submetido à fertirrigação com vinhaça concentrada e cloreto de potássio em diferentes dosagens. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. O solo utilizado foi coletado de um Latossolo Vermelho distroférrico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho. A aplicação dos tratamentos foi efetuada em dois momentos, nos estádios V4 e V6 do milho. Foram avaliados ao longo do desenvolvimento da cultura os seus parâmetros biométricos e a produção de matéria seca da parte aérea, mensurando-se as taxas de crescimento da planta e, os teores de clorofilas. No momento da colheita, foram mensurados os índices produtivos, a produção de grãos do milho e a eficiência técnica e econômica da vinhaça concentrada e do cloreto de potássio como fontes de potássio. Determinou-se o estado nutricional do milho no momento do florescimento, com base nos teores do macronutrientes e no momento da colheita calculou-se o acúmulo dos macronutrientes nas folhas, colmo, grãos, a extração, exportação e particionamento entre grãos, folhas e colmo. Independente da fonte utilizada, a dose de 200% proporciona a maior altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento da folha, número de folhas e área foliar no final do ciclo do milho. A dose de 200% proporciona a maior área foliar específica, razão de área foliar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida e taxa de crescimento da cultura quando na fonte cloreto de potássio, para a vinhaça concentrada as doses de 96 e 86% apresentam os maiores valores para a área foliar específica e razão de área foliar para a planta de milho. Não ocorre influência das doses e das fontes de potássio no acúmulo de matéria seca das folhas, colmo e parte aérea na colheita do milho. A dose de 100% independentemente da fonte utilizada, proporciona maior massa seca de sabugo, massa seca de grãos, massa seca de grãos por espiga, produtividade de grãos, quantidade de sacas produzidas por hectare e índice de colheita do milho. A máxima eficiência técnica e econômica para o cloreto de potássio é obtida nas doses de 120 e 116% e, para a vinhaça concentrada, na dose de 139%. Independentemente da fonte de potássio utilizada ocorre deficiência de potássio na planta de milho até a dose de 24% (21,6 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e, redução nos teores de magnésio e cálcio no tecido vegetal do milho conforme o aumento da disponibilidade de potássio, na época de florescimento. A dose de 100% (95 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) da recomendação de potássio aplicado via cloreto de potássio ou

vinhaça concentrada é a que proporciona o melhor balanço nutricional de macronutrientes no milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., adubação potássica, acúmulo de nutrientes, reciclagem de nutrientes, produção de grãos, eficiência agronômica.

## ABSTRACT

CABRAL FILHO, F. R. **Agronomic performance and nutritional balance in fertigated maize plant with concentrated vinasse and potassium chloride.** 2019. 107p. Dissertation (Master in Agricultural Sciences – Agronomy). Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO, Brazil.

Due to the demand for energy sources to replace those from petroleum, the biofuels consumption has been increasing, with ethanol highlighted in this scenario. Currently, the ethanol production matrix in Brazil is based on sugar cane and among the biomass that can be used as an alternative stands out corn. Among the co-products from sugarcane processing, the vinasse deserves to be highlighted, being widely used in crop fertigation as an organic potassium source. Thus, the objective of this study was to evaluate the vegetative development, grain yield of dry corn, and the nutritional balance of macronutrients in the plant, submitted to fertigation with concentrated vinasse and potassium chloride in different dosages. The experiment was carried out in open - air plastic pots at the experimental station of the Goiano Federal Institute - Campus Rio Verde - GO. The soil used was collected from a Cerrado phase dystroferic Red Latosol. The experimental design was randomized blocks, analyzed in a 2 x 4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of two potassium sources (concentrated vinasse and potassium chloride) and four potassium doses referring to 0, 50, 100 and 200% of the recommendation for corn crop. The treatments were applied in two moments, in the V4 and V6 corn stages. Biometric parameters and shoot dry matter production were evaluated throughout the crop development, measuring plant growth rates and chlorophyll contents. At the harvest time, yield indexes, corn grain yield and the technical and economic efficiency of concentrated vinasse and potassium chloride were measured as potassium sources. The corn nutritional status at flowering was determined based on macronutrient contents and at harvest time the macronutrient accumulation in leaves, stalk, grain, extraction, exportation and partitioning between grains, leaves and stem. Regardless of the source used, the 200% dose provides the highest plant height, stem diameter, leaf length, leaf number and leaf area at the end of the corn cycle. The 200% dose provides the highest specific leaf area, leaf area ratio, leaf area index, net assimilation rate and crop growth rate when in potassium chloride, for 96 and 86% concentrated vinasse. present the highest values for specific leaf area and leaf area ratio for the corn plant. There is no influence of potassium doses and sources on leaf, stem and shoot dry matter accumulation in corn harvest. The 100% dose, regardless of the source used, provides higher corn dry mass, dry grain mass, dry grain mass per ear, grain yield, quantity of bags produced per hectare, and corn harvest index. The maximum technical and economical efficiency for potassium chloride are obtained at doses of 120 and 116% and for concentrated vinasse at 139%. Regardless of the potassium source used, potassium deficiency occurs in the corn plant up to 24% ( $21.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ ) as well as the reduction in the magnesium and calcium levels in the corn plant tissue as the potassium availability increases in the flowering stage. The 100% ( $95 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ ) dose of the potassium recommendation applied via potassium chloride or concentrated vinasse provides the best macronutrient nutritional balance in corn.

**Keywords:** *Zea mays* L., potassium fertilization, nutrient accumulation, nutrient recycling, grain yield, agronomic efficiency.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil estabeleceu-se como grande potência agrícola mundial, devido à incorporação de tecnologias de culturas intensivas relacionadas ao uso de insumos no processo de produção, permitindo, assim, a expansão da fronteira agrícola para regiões até então “marginalizadas”, especialmente no domínio do bioma Cerrado (SEVERIANO et al., 2013).

A região do Cerrado, com 205 milhões de hectares (VILELA et al., 2001), transformou-se na principal área de produção de carne e grãos do Brasil. Com o desenvolvimento de tecnologias de melhorias na fertilidade dos solos da região do Cerrado, a produção em larga escala de milho como de outros grãos tornou-se rentável (MATOS; PESSÔA, 2014).

O milho assume grande importância social e econômica, principalmente pela geração de empregos e renda na zona rural e urbana, pois fornece produtos largamente utilizados na alimentação humana, tanto na forma “in natura” como processado, da mesma forma, para alimentação animal, que representa o principal insumo para a confecção de rações. Além disso, o milho e seus derivados constituem-se em matéria-prima para vários segmentos da indústria, como por exemplo, farmacêutica, têxtil, bebidas, cosméticos, papéis, curtumes, colas dentre outras (EMBRAPA, 2018).

A produção mundial de milho para a safra 2018/2019 está estimada em 1,1 bilhão de toneladas, sendo 2,9% superior a safra 2017/2018 (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA, 2019). No Brasil, a produção total estimada para a safra 2018/2019 é de 99 milhões de toneladas cultivadas em 17333 milhões de hectares. No Estado de Goiás, a produção de milho nesta safra está estimada em 10161 milhões de toneladas cultivadas em 1523 milhões de hectares (Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2019).

Devido à procura por fontes energéticas em substituição àquelas oriundas do petróleo, tem-se aumentado o consumo dos biocombustíveis, e acarreta na utilização de novas matérias-primas para sua produção, tendo o etanol destaque neste cenário (ROSETTO et al., 2017). O etanol de cana-de-açúcar e milho representam 82% do mercado mundial de biocombustíveis (ROSETTO et al., 2017). Os Estados Unidos produzem etanol a partir do milho, com rendimento médio de 3.500 L por hectares de álcool de milho, enquanto o Brasil ainda concentra toda sua produção a partir da cana-de-

açúcar, com rendimento médio de 7.000 L por hectare (BORTOLETTO; ALCARDE, 2015).

Atualmente, a matriz produtiva de etanol no Brasil se baseia na cana-de-açúcar. Contudo, as usinas moem cana-de-açúcar apenas durante a safra, que normalmente pode durar até oito meses (MILANEZ et al., 2014). Dentre as biomassas que podem ser utilizadas como alternativa na produção de etanol, elevando o nível de utilização do parque industrial das usinas e opção para a rotação de culturas no sistema de cultivo da cana-de-açúcar, destaca-se a cultura do milho, que é uma das mais cultivadas no mundo e tem expressiva participação na economia do Brasil, graças às condições favoráveis de cultivo e à utilização de materiais genéticos de alta qualidade (CONAB, 2017), cujo país compreende o terceiro maior produtor e o segundo com mais exportações de milho no mundo (USDA, 2017).

Contudo, apenas os Estados de Mato Grosso e Goiás produzem etanol a partir do milho, com expectativa de abertura de novas unidades. Estas indústrias são denominadas de Usinas *flex*, pois processam tanto a cana-de-açúcar como o milho (CANAL – JORNAL DA BIOENERGIA, 2017). Sendo assim, o manejo dos coprodutos, que principalmente são gerados a vinhaça (cana-de-açúcar) e os DDGS (distillers dried grains with solubles) (KINDBERG, 2010) (Milho) nestas indústrias é de extrema importância.

Dentre os coprodutos oriundos do processamento da cana-de-açúcar, a vinhaça merece destaque, sendo que para cada litro produzido são gerados 10 a 15 litros de vinhaça (CABRAL FILHO et al., 2018). Em função destes grandes volumes produzidos, surgiram os sistemas de concentração de vinhaça, baseados na evaporação em múltiplos estágios, com evaporadores em nevoa turbulenta descendente, dotados de aquecimento e evaporação rápidos e uniformes, em sistema de cascata (POSSIGNOLO et al., 2015). A concentração da vinhaça visa reduzir a quantidade de água presente neste resíduo, reduzindo o seu volume e conseqüentemente os custos com transporte e aplicação na fertirrigação (SOUSA, 2018).

Atualmente, a vinhaça concentrada é utilizada em larga escala na fertirrigação das lavouras de cana-de-açúcar, tendo como benefícios sua composição química de nutrientes e matéria orgânica, como o nitrogênio, cálcio, magnésio e fósforo em menores concentrações (SEIXAS et al., 2016) e, principalmente o potássio (K) que corresponde cerca de 20% do total de compostos orgânicos e minerais (MARQUES, 2006).

O K é um macronutriente primário fundamental no desenvolvimento das plantas, sendo um nutriente com relevantes funções fisiológicas e metabólicas; translocação de assimilados e de carboidratos, aprimora a eficiência do uso da água, cujo suprimento balanceado de potássio potencializa a utilização do nitrogênio (FOLONI et al., 2013). O potássio é o segundo nutriente requerido em maiores quantidades pela cultura do milho, sendo que 30% são exportados nos grãos. O nutriente influencia no aumento da massa individual de grãos e no número de grãos por espiga (VALDERRAMA et al., 2011), aumento do teor de carboidrato, óleos, gorduras e proteínas além de promover armazenamento de açúcar e amido e, a utilização de água garantindo resistência a secas, geadas e moléstias (MALAVOLTA et al., 1989).

Por apresentar-se predominantemente na forma iônica  $K^+$  no tecido da planta de milho, a maior parte do K é ciclada, retornando ao solo após a colheita e senescência da planta (PAVINATO et al., 2008). XIE et al. (2014), estudando por três anos o efeito da palha do milho e a aplicação de potássio no solo, observaram que a palha de milho combinada com a adubação potássica aumenta a produtividade das culturas subsequentes e mantém o equilíbrio e armazenamento de potássio no solo.

A elevada saturação de potássio pode desbalancear outros nutrientes na planta, comprometendo a produtividade (BEBÉ et al., 2009). Devido à dinâmica das reações de troca iônica nos solos, é importante considerar as inter-relações entre os íons de potássio, cálcio e magnésio, pois o excesso de um poderá prejudicar os processos de adsorção do outro e, conseqüentemente, influir diretamente nas quantidades absorvidas pelas plantas (ORLANDO FILHO et al., 1996), tornando necessária o conhecimento do estado nutricional da planta em função da vinhaça como fonte de potássio.

Estudos com o potássio têm despertado interesses, visto que 95% desse elemento consumido no Brasil são importados. O cloreto de potássio (KCl) tem se destacado como principal produto de importação no Brasil, a única fonte produtora de fertilizantes potássicos está sendo explorado pela Companhia Vale do Rio Doce, localizada em Sergipe (CARDOSO, 2016).

A associação de adubos orgânicos com mineral, tem aumentado os rendimentos de milho e a disponibilidade de K e P (HENTZ et al., 2016). Assim, o aproveitamento de resíduos agroindustriais e orgânicos, como fertilizantes compreende alternativa para a adubação de pastagens e culturas agrícolas, com a vantagem de promover a reciclagem de nutrientes e dar destinação correta e sustentável para os resíduos agroindustriais.



## 1.1 Referências bibliográficas

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVERIRA, V. S. Dinâmica do potássio em cana de açúcar fertirrigada com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 781-787, 2009.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Dominante nos EUA, etanol de milho é opção, no Brasil, para safra excedente. **Rev. Visão Agrícola**, nº13, 2015.

CABRAL FILHO, F. R.; VIEIRA, G. da S.; SILVA, N. F. da; CUNHA, E. S.; SANTOS, L. N. S. dos; RODRIGUES, C. R.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. 2018. Sugarcane Vinasse Cations Dynamics in Cerrado Soils, Brazil. **Sugar Tech**.

CANAL - JORNAL DA BIOENERGIA. **Produção de etanol de milho avança no Brasil**. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/etanol-de-milho-mato-grosso-sedestaca-na-producao/>>. Acesso em: 19/05/2019.

CARDOSO, S. S. **Crescimentos sucessivos de capim-marandu em diferentes solos submetidos à fertilização potássica**. 2016. 46 f. Tese (doutorado) apresentada a Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Jaboticabal, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.6, Safra 2018/19 – Décimo primeiro levantamento. **CONAB**: Brasília.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Quarto levantamento da safra brasileira de grãos da Conab e IBGE**. Brasil, 2017. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_11\\_11\\_30\\_39\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_11_11_30_39_boletim_graos_janeiro_2017.pdf)>. Acesso em: 19/05/2019.

EMBRAPA, **Sistemas diferenciais de cultivo**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnj02wx5ok0pvo4k3nojxnsf.html#>>>. Acesso em 23-05-2019.

FOLONI, J. S. S.; CORTE, A. J.; CORTE, J. R. N.; et al., Adubação de cobertura na batata-doce com doses combinadas de nitrogênio e potássio. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 117-126, 2013.

HENTZ P, CORRÊA JC, FONTANELI RS, REBELATTO A, NICOLOSO RS, SEMMELMANN C. Poultry Litter and Pig slurry Applications in an Integrated Crop-Livestock System. **Revista Brasileira Ciências Solo**. 2016.

KINDBERG, L. An introduction to bioenergy: feedstocks, processes and products. **Natl. Sustain. Agric. Inf. Service**, pp.1-12, 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Editorial 2006. p.369-375.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A apropriação do cerrado pelo agronegócio e os novos usos do território. Campo-território: **Revista de geografia agrária**, v. 9, n. 17, p. 6-26, abr., 2014.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; et al. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, v. 41, junho, 2014.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo, areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Stab. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.

POSSIGNOLO, N. V.; ALVES, K. A. S.; BARRETO, T. M.; VITTI, A. C. Caracterização da vinhaça in natura e concentrada para viabilização da mistura de fontes nitrogenadas. **Ciência & Inovação**, v. 2, n.1, 2015.

ROSETTO, R. E.; MADALENA, L. C. de S.; OLIVEIRA, A. F. de; CHANG, P.; PRIMIERI, B. F.; FRIGO, E. P.; SANTOS, R. F. 2017. Panorama do etanol brasileiro. **Acta Iguazu**, v.6, n.5, p.13-22.

SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 39, n.2, p.172-179, 2016.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; COSTA, K. A. P.; CARDUCCI, C.E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, p.193-202, 2013.

SOUSA, V. G. **Alternativas para valorização da vinhaça**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG, 2018.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **1º levantamento USDA da safra 2017/18**. Maio 2017. Disponível em: <[www.fiesp.com.br/arquivodownload/?id=230971](http://www.fiesp.com.br/arquivodownload/?id=230971)>. Acesso em: 19/05/2019.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Décimo segundo levantamento para a produção de milho safra 2018/19**. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>. Acesso em: 08/08/2019.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S; BENET, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária**. Planaltina: Embrapa, 2001. 20p.

XIE, J. G.; HOU, Y. P.; YIN, C. X. KONG, L. L.; QIN, Y. B.; LI, Q.; WANG, L. C. Effect of potassium application and straw returning on spring maize yield, nutrient absorption and soil potassium balance. **Journal of Plant Nutrition and Fertilizer**, v. 1, n. 1, p. 1110- 1118, 2014. Disponível: doi:< 10.11674/zwyf.2014.0507

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com este estudo avaliar o desenvolvimento vegetativo, a produção de grãos do milho sequeiro, além do balanço nutricional de macronutrientes na planta, submetido à fertirrigação com vinhaça concentrada e cloreto de potássio em diferentes dosagens.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento morfológico do milho grão através da mensuração de variáveis como altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas e área foliar em resposta a fertirrigação com vinhaça concentrada e cloreto de potássio em diferentes dosagens, no sistema de cultivo sequeiro;
- Avaliar os efeitos da fertirrigação com vinhaça concentrada e cloreto de potássio em diferentes dosagens, nos teores de clorofilas do milho grão, cultivado em sistema de sequeiro;
- Avaliar o balanço de macronutrientes na planta e estado nutricional do milho grão, submetido a fertirrigação com vinhaça concentrada e cloreto de potássio em diferentes dosagens;
- Avaliar os efeitos da fertirrigação com vinhaça concentrada e cloreto de potássio em diferentes dosagens, na produção de matéria seca e de grãos e, na taxa de crescimento do milho, cultivado em sistema de sequeiro;
- Avaliar a viabilidade agronômica da utilização da vinhaça concentrada de cana-de-açúcar na cultura do milho em cultivo em usinas *flex*, como forma de suplementação da necessidade nutricional de potássio e outros nutrientes.

### 3 CAPÍTULO I

## CRESCIMENTO VEGETATIVO DO MILHO GRÃO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO

### RESUMO

O milho está ganhando cada vez mais importância no cenário de produção do etanol portanto, poderá no futuro ocupar uma expressiva porcentagem do mercado de biocombustíveis no Brasil. O potássio tem grande importância para o desenvolvimento das culturas, pela grande quantidade extraída pelas plantas, portanto, a vinhaça que possui expressiva concentração deste nutriente, em sistemas de produção de etanol de cana-de-açúcar e milho é um importante adubo orgânico para as culturas. Com base exposto acima, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar nas variáveis biométricas, quantidade de clorofilas e taxa de crescimento da cultura do milho grão. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho. Independente da fonte utilizada, a dose de 200% proporciona a maior altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento da folha, número de folhas e área foliar no final do ciclo do milho. O cloreto de potássio na dose de 200% proporciona maior número de folhas, largura de folha e área foliar no final do ciclo do milho, em comparação com a vinhaça concentrada. Independente da fonte utilizada, a dose de 200% proporciona a maior quantidade de Clorofilas totais no final do ciclo do milho. A dose de 200% proporciona a maior área foliar específica, razão de área foliar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida e taxa de crescimento da cultura quando na fonte cloreto de potássio, para a vinhaça concentrada as doses de 96 e 86% apresentam os maiores valores para a área foliar específica e razão de área foliar para a planta de milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., biometria, taxas de crescimento, adubação potássica.

### ABSTRACT

Corn is gaining more and more importance in the ethanol production scenario and may in the future occupy a significant percentage of the biofuels market in Brazil. Potassium is of great importance for crop development, due to the large amount extracted by plants, so

the vinasse that has a significant concentration of this nutrient in sugarcane and corn ethanol production systems is an important organic fertilizer for the cultures. Based on the above, the objective of this study was to evaluate the comparative effect between potassium chloride and organic potassium fertilization with concentrated sugarcane vinasse in the biometric variables, chlorophyll amount and corn crop growth rate. The experiment was carried out in open - air plastic pots at the experimental station of the Goiano Federal Institute - Campus Rio Verde - GO. The soil used was classified as dystroferic Red Latosol, Cerrado phase, of clay texture. The experimental design was randomized blocks, analyzed in a 2 x 4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of two potassium sources (concentrated vinasse and potassium chloride) and four potassium doses referring to 0, 50, 100 and 200% of the recommendation for corn crop. Regardless of the source used, the 200% dose provides the highest plant height, stem diameter, leaf length, leaf number and leaf area at the end of the corn cycle. Potassium chloride at a dose of 200% provides greater leaves number, leaf width and leaf area at the end of the corn cycle compared to concentrated vinasse. Regardless of the source used, the 200% dose provides the largest amount of total chlorophylls at the end of the corn cycle. The 200% dose provides the highest specific leaf area, leaf area ratio, leaf area index, net assimilation rate and crop growth rate when in potassium chloride, while 96 and 86% of concentrated vinasse. present the highest values for specific leaf area and leaf area ratio for corn plant

**Keywords:** *Zea mays* L., biometrics, growth rates, potassium fertilization.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), originário da América, mais provavelmente na região onde situa-se o México, representa um dos principais cereais cultivados e consumido no mundo, em virtude do seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutritivo. Quando utilizado para a produção de etanol, apesar do processo mais complexo do que quando comparado com a produção de etanol por base de açúcares, a exemplo da cana-de-açúcar (MANOCHIO, 2014), o milho está ganhando cada vez mais importância neste cenário, portanto, poderá no futuro ocupar expressiva porcentagem do mercado de biocombustíveis no Brasil.

Esforços têm sido feitos na busca de matérias-primas que possam ser processadas pelas usinas de cana-de-açúcar durante a entressafra. O interesse privado ocorre em um cenário que apresenta, de um lado, elevada produção de milho em regiões que não contam com condições logísticas para escoamento apropriado dessa *commodity* e, de outro, estagnação de investimentos em novas usinas de etanol, cujo efeito mais deletério tem se traduzido em importações crescentes de gasolina (MILANEZ et al., 2014).

Dentre os resíduos oriundos do processamento da cana-de-açúcar, a vinhaça merece destaque, sendo esta, originária do processo de fabricação do etanol. Apesar de seus benefícios nutricionais às plantas, a vinhaça é caracterizada como efluente de destilarias com alto poder poluente (FREIRE e CORTEZ, 2000). Devido a possibilidade de ocorrer a lixiviação dos íons no lençol freático em função da aplicação de altas doses de vinhaça, foi regulamentada no Estado de São Paulo a norma P4.231, na qual é estabelecida a dose de vinhaça a ser aplicada em relação à saturação de potássio (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 2006).

Segundo Ribeiro et al. (2014) o constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica (basicamente sob a forma de ácidos orgânicos) e, em menor quantidade, por cátions como o  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ . Assim, dentre as vantagens de utilização da vinhaça, destaca-se o fornecimento de potássio, que corresponde cerca de 20% do total de compostos orgânicos e minerais (MARQUES, 2006), além de nitrogênio, cálcio, magnésio e fósforo em menores concentrações (SEIXAS et al., 2016), que contribui para minimizar o uso de água com melhor qualidade na agricultura.

O potássio (K) tem grande importância para o desenvolvimento das culturas pela grande quantidade extraída pelas plantas (RAIJ et al., 1997). Na cultura do milho, é o segundo nutriente mais requerido no período reprodutivo e o primeiro no vegetativo (MENEZES et al., 2018), sendo, acumulado em grande quantidade nos grãos. Aplicações na semeadura e em cobertura de potássio no milho cultivado em Latossolo de Cerrado, podem proporcionar maior eficiência agrônômica, diâmetro do caule, altura de planta, fitomassa seca, índice de colheita e produtividade, como observado por Petter et al. (2016), contudo, deve-se estipular a dosagem correta.

Como mencionando por Cruz et al. (2016) a vinhaça possui potencial para suprir as necessidades nutricionais de potássio de qualquer cultura, portanto, nas usinas *flex* (Usinas que produzem etanol de milho e cana-de-açúcar), a vinhaça apresenta grande potencial como forma de suplementação orgânica de potássio e outros nutrientes para a cultura do milho.

Conforme mostram estudos feitos por Silva (2017) e Basso et al. (2013) a utilização de vinhaça no milho como fonte de K pode substituir a adubação mineral com cloreto de potássio, ocorrendo melhorias nos atributos químicos do solo, aumento na produtividade de grãos, de silagem e de forragem do milho.

Com base exposto acima, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar nas variáveis biométricas, quantidade de clorofilas e taxa de crescimento da cultura do milho grão.

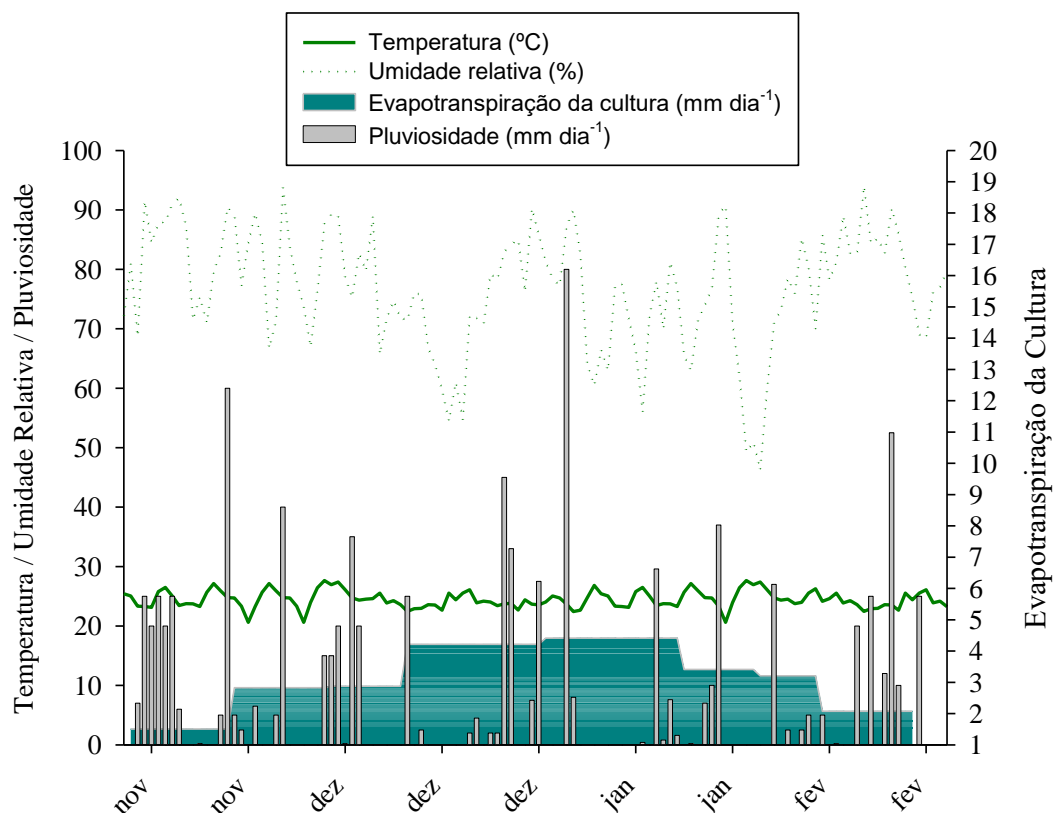
## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Características e Localização da Área Experimental**

O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, no período de novembro de 2018 a fevereiro de 2019 (Milho safra), na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus Rio Verde* – GO. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

A precipitação pluvial observada durante os meses de cultivo do milho na safra 2018/19: novembro (267,30 mm); dezembro (241,20 mm); janeiro (182,30 mm); fevereiro (186,70 mm), conforme Figura 1.





**Figura 1.** Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).

Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

### 3.2.2 Caracterização do Solo

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). O solo foi coletado numa camada de 0,0-0,30 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IFGoiano – Campus Rio Verde, cujas características físico-químicas desse solo se encontram na Tabela 1, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade.

Prof. (m)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl <sub>2</sub>
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>				pH
0,0-0,3	4,3	1,2	5,5	0,00	2,5	0,17	67	9,9	55,3	5,6
Prof. (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC <sup>a</sup>	SB <sup>b</sup>	V% <sup>c</sup>	m% <sup>d</sup>
	Micronutrientes (mg dm <sup>-3</sup> )					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Sat. Bases	Sat. Al	

0,0- 0,3	0,0	19,9	9,3	2,95	1,65	0,06	8,2	5,7	69,1	0,00
Prof.	Textura (g kg <sup>-1</sup> )			M.O. <sup>e</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
(m)	Argila	Silte	Areia	g dm <sup>-3</sup>	Relação entre bases					
0,0- 0,3	502	49	449	27,6	3,6	25,3	7,1	0,5	0,2	0,02

P (Fósforo) = Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio) = KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; S (Enxofre) = Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>; M.O. = Método colorimétrico; B (Boro) = água quente.

<sup>a</sup>Capacidade de troca catiônica; <sup>b</sup>soma de bases; <sup>c</sup>saturação de bases; <sup>d</sup>saturação de alumínio; <sup>e</sup>Matéria orgânica.

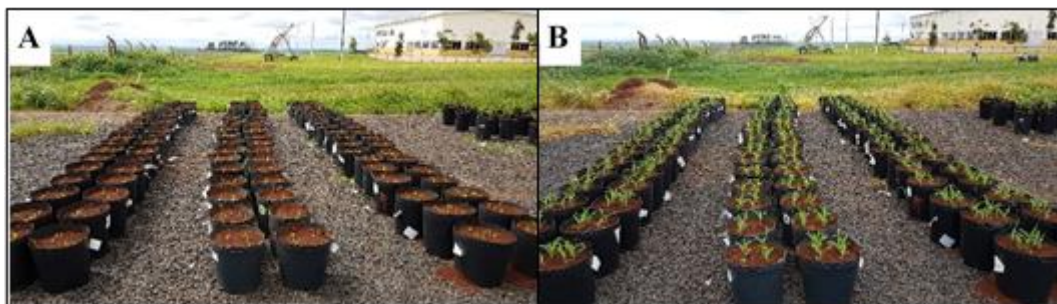
### 3.2.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho (expectativa de rendimento de 12 t ha<sup>-1</sup>) na região de Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2004), totalizando 24 parcelas experimentais, sendo que, cada parcela foi constituída por cinco vasos com duas plantas, totalizando 120 unidades experimentais. O critério para o cálculo da dose por vaso foi o de número de plantas, em que, considerou-se a população de 75.000 plantas por hectare.

### 3.2.4 Implantação do experimento

Para a condução deste estudo foram utilizados vasos plásticos de polietileno com capacidade de 25 L. Foi confeccionado no fundo dos vasos um dreno com espessura de 4 cm de brita nº1. Posteriormente, efetuou-se o preenchimento com 32 kg de solo (ds = 1,35 g cm<sup>-3</sup>).

Os vasos tiveram suas umidades elevadas até a capacidade de campo, momento em que foram plantadas 10 sementes de milho Híbrido SYN522 VIP3 por vaso de milho. Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi efetuado o desbaste das plantas, deixando apenas duas plantas por vaso, mantidas até o final do ciclo da cultura (Figura 2).



**Figura 2.** Período antes (A) e após o desbaste (B) das plantas de milho.

### 3.2.5 Correção e adubação do solo

Foi efetuada a correção do pH do solo aplicando-se, 30 dias antes da sementeira, calcário filler calcítico na dose de  $2 \text{ t ha}^{-1}$ , correspondendo a aplicação de  $65 \text{ g vaso}^{-1}$ , segundo a metodologia de elevação da saturação por bases para 70%.

Todas as parcelas dos tratamentos foram adubadas com fósforo e nitrogênio no sulco de sementeira e, em cobertura a lanço apenas com nitrogênio, nos estádios fenológicos do milho V4 e V6 (4 e 6 folhas totalmente desenvolvidas), segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004):  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $1,78 \text{ g vaso}^{-1}$ ) de N-ureia na sementeira e  $1300 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $36,92 \text{ g vaso}^{-1}$ ) de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -super simples e,  $155 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $4,14 \text{ g vaso}^{-1}$ ) de N-ureia dividido em duas aplicações na cobertura.

### 3.2.6 Aplicação dos tratamentos

A aplicação do potássio ocorreu apenas na cobertura do milho via fertirrigação, nos estádios fenológicos V4 e V6, conforme a recomendação de Sousa e Lobato (2004) ( $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de potássio) e, seguindo os tratamentos descritos no item 3.2.3. A fonte cloreto de potássio utilizada foi o granulado de coloração avermelhada, com concentração de 60% de  $\text{K}_2\text{O}$ .

A vinhaça concentrada utilizada no experimento foi coletada na usina Raízen – Unidade Jataí, num volume total de 100 L e armazenada para a realização do experimento. Foi realizada uma análise química completa da vinhaça no início do experimento, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização físico-química da vinhaça utilizada no estudo.

N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	Ca	Mg	Na	S	C.O.
----- Macronutrientes ( $\text{g dm}^{-3}$ ) -----							$\text{g dm}^{-3}$

3,12	1,56	15,72	2,04	1,32	-	3	51,84
Fe	Mn	Cu	Zn	pH	Densidade	M.S.	
----- Micronutrientes (g kg <sup>-1</sup> ) -----					-	g L <sup>-1</sup>	%
0,24	<0,1	<0,1	<0,1	4,0	1,2	-	

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Fósforo) = Mehlich 1, K<sub>2</sub>O (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Melich 1; Ca (Cálcio) e Mg (magnésio) = KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; S (Enxofre) = Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>; C.O. (Carbono orgânico) = Método colorimétrico.

### 3.2.7 Variáveis analisadas

#### 3.2.7.1 Variáveis morfológicas

As características morfológicas foram avaliadas aos 30, 58 e 86 DAS, quantificando: Altura de Planta (AP - cm); Diâmetro de colmo (DC - mm); Número de Folhas (NF); Comprimento da folha (CF - cm); Largura da folha (LF - cm) e Área Foliar (AF - cm<sup>2</sup>).

A AP foi mensurada com auxílio de fita métrica, a partir do solo até o colarinho da última folha totalmente expandida; O DC foi determinado pelo auxílio do paquímetro digital no terço inferior da planta; O NF foi determinado pela contagem das folhas totalmente expandidas com o mínimo de 20% de área verde; O CF e a LF foram mensurados com o auxílio de uma fita métrica; A AF foi determinada por meio da contagem do NF (folhas totalmente expandidas com o mínimo de 20% de área verde) e pelas medições na folha +1, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia Sangoi et al. (2011) (Equação 1):

$$AF=C \times L \times 0,75 \quad (1)$$

Em que: AF: área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>); C: comprimento da folha +1 (cm); L: largura da folha+1 (cm); 0,75: fator de correção para área foliar da cultura.

#### 3.2.7.2 Teores de clorofilas

Os teores de clorofilas foram avaliados aos 30, 58 e 86 DAS, quantificando: Clorofila *a* (CLRa); Clorofila *b* (CLRb) e a Clorofila *total* (CLRt) utilizando-se o aparelho Falker ClorofiLOG<sup>®</sup> 1030. O Índice SPAD (SPAD) foi obtido com auxílio do aparelho Minolta SPAD<sup>®</sup> 502.

#### 3.2.7.3 Taxas de crescimento

A partir das variáveis área foliar e de acúmulo de matéria seca das folhas e da parte aérea, avaliadas aos 30 DAS e 114 DAS, foram determinados os parâmetros de crescimento: Taxa de Crescimento Absoluto (TCA – g dia<sup>-1</sup>) (Equação 2); Taxa de Crescimento Relativo (TCR – g g dia<sup>-1</sup>) (Equação 3); Taxa Assimilatória Líquida (TAL – g cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) (Equação 4); Área Foliar Específica (AFE – cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) (Equação 5); Razão de Massa Foliar (RMF g g<sup>-1</sup>) (Equação 6); Razão de Área Foliar (RAF – cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) (Equação 7); Índice de Área Foliar (IAF – cm<sup>2</sup> cm<sup>2</sup>) (Equação 8) e a Taxa de Crescimento da Cultura (TCC – g cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) (Equação 9) segundo metodologia descrita por Magalhães (1985) e Benincasa (2003):

$$TCA = \frac{MSPA_2 - MSPA_1}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

$$TCR = \frac{\ln MSPA_2 - \ln MSPA_1}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

$$TAL = \frac{MSPA_2 - MSPA_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{T_2 - T_1} \quad (4)$$

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (5)$$

$$RMF = \frac{MSPA}{MSF} \quad (6)$$

$$RAF = AFE \times RMF \quad (7)$$

$$IAF = TCR \times RAF \quad (8)$$

$$TCC = TAL \times IAF \quad (9)$$

Em que: TCA: taxa de crescimento absoluto (g dia<sup>-1</sup>); MSPA<sub>2</sub>: massa seca da parte aérea no final do ciclo da cultura (g planta<sup>-1</sup>); MSPA<sub>1</sub>: massa seca da parte aérea no início do ciclo da cultura (g planta<sup>-1</sup>); T<sub>2</sub>: tempo após a semeadura da mensuração da MSPA<sub>2</sub> (dias); T<sub>1</sub>: tempo após a semeadura da mensuração da MSPA<sub>1</sub> (dias); TCR: taxa de crescimento relativo (g g dia<sup>-1</sup>); ln: logaritmo neperiano; TAL: taxa assimilatória líquida (g cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>); AF<sub>2</sub>: área foliar no final do ciclo da cultura (m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>); AF<sub>1</sub>: área foliar

no início do ciclo da cultura ( $\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$ ); AFE: área foliar específica ( $\text{cm}^2 \text{dia}^{-1}$ ); RMF: razão de massa foliar ( $\text{g g}^{-1}$ ); RAF: razão de área foliar ( $\text{cm}^2 \text{dia}^{-1}$ ); IAF: índice de área foliar ( $\text{cm}^2 \text{cm}^2$ ); TCC: taxa de crescimento da cultura ( $\text{g cm}^2 \text{dia}^{-1}$ ).

### 3.2.8 Análises Estatísticas

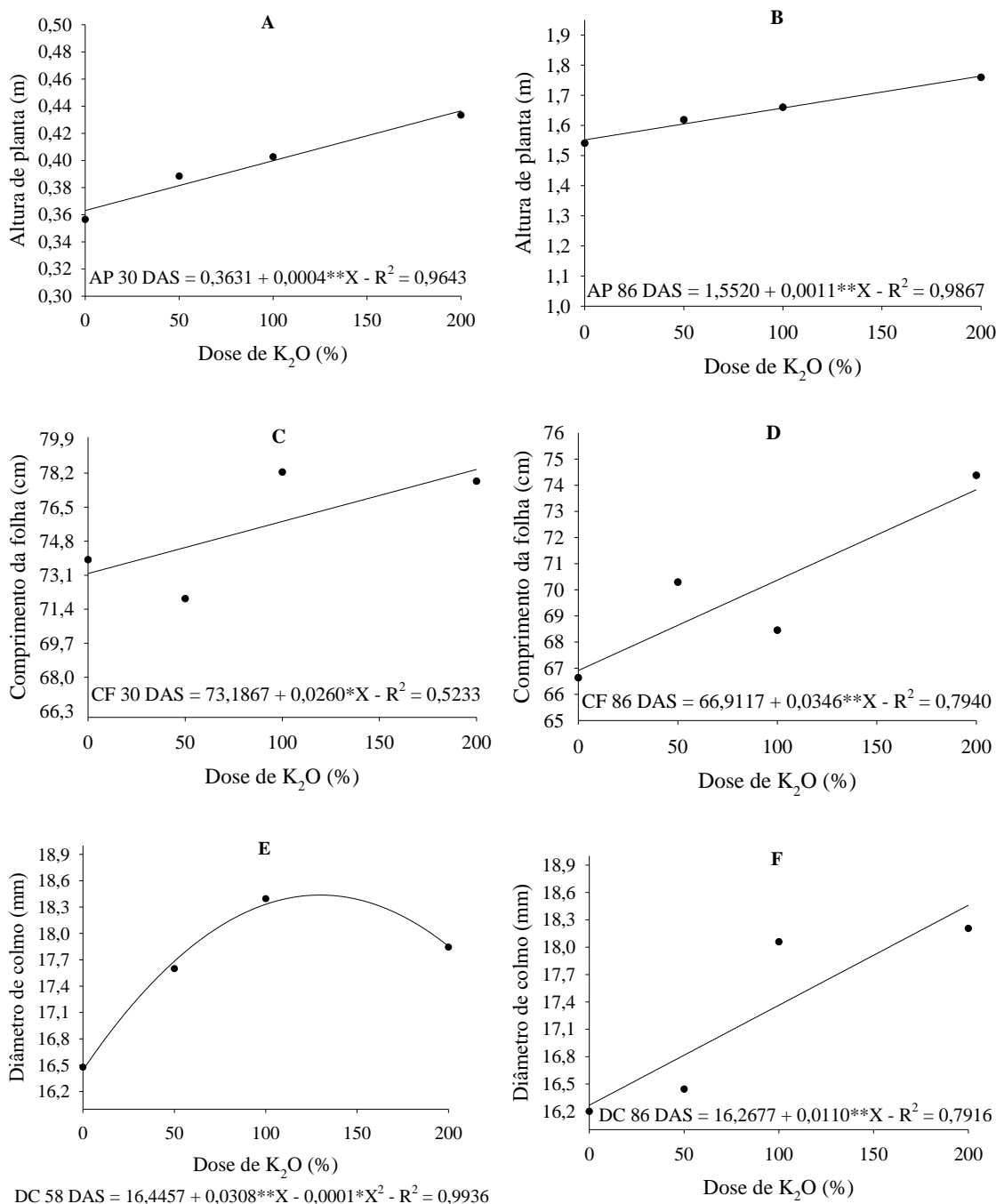
Os dados das variáveis biométricas e de clorofilas obtidos em cada fase de desenvolvimento e as taxas de crescimento foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis doses (D). Para o fator fontes (F), as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011).

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Parâmetros biométricos

Para as variáveis biométricas analisadas ocorreu efeito significativo do fator isolado doses (D) para as variáveis comprimento da folha (CF) e altura de planta (AP) aos 30 e 86 dias após a semeadura (DAS) e, diâmetro de colmo (DC) aos 58 e 86 DAS. Efeito da interação doses x fontes (D x F) foi observado para as variáveis: DC aos 30 DAS; número de folhas (NF) aos 86 DAS; largura da folha (LF) aos 30 e 86 DAS e, área foliar (AF) aos 86 DAS.

Conforme a Figura 3A e 3B a cada acréscimo de 50% na D estima-se um aumento de 5,50% e 3,54% na AP, aos 30 e 86 DAS; 3,38% no DC aos 86 DAS (Figura 3F); 1,77% e 2,58% no CF aos 30 e 86 DAS (Figura 3C e 3D). Os maiores valores AP, DC e CF foram observados na D de 200% e os menores valores na D de 0%, havendo redução estimada de 18,05% (0,08 m) e 12,41% (0,22 m) na AP aos 30 e 86 DAS, 11,91% (2,2 mm) no DC aos 86 DAS e, 6,63% (5,2 cm) e 9,37% (6,92 cm) no CF aos 30 e 86 DAS, respectivamente.



**Figura 3.** Altura de planta (AP) (A e B) e comprimento da folha (CF) (C e D) aos 30 e 86 dias após a semeadura (DAS) e, diâmetro de colmo (DC) do milho aos 58 e 86 DAS (E e F) em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

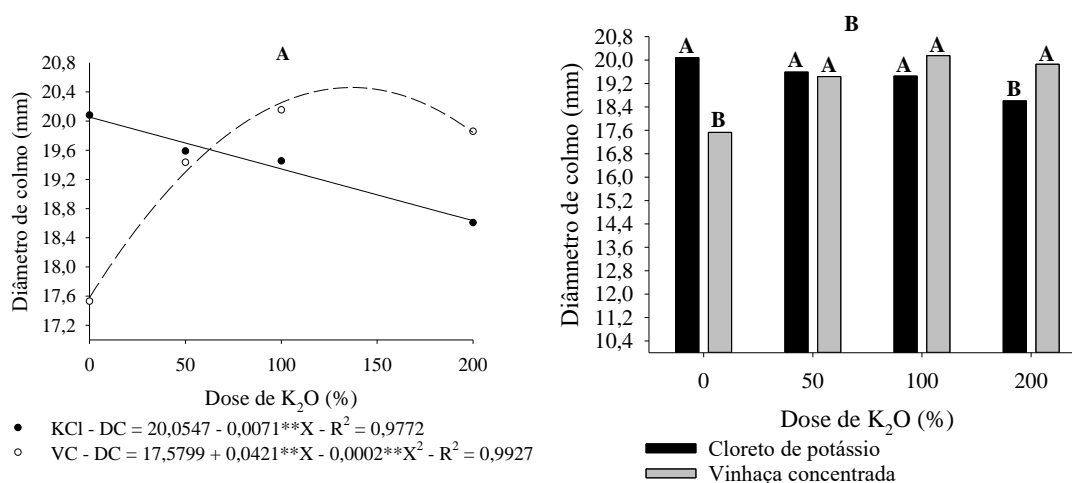
Basso et al. (2013) observaram incremento na altura do milho silagem conforme o aumento da dose de vinhaça, que foi superior a adubação mineral com cloreto de potássio, o que, neste estudo não ocorreu entre as fontes utilizadas. Contudo, apenas a tendência do milho em aumentar a altura conforme o aumento da dose de potássio.

O DC aos 58 DAS em função das doses (Figura 3E) adequou-se a equação polinomial de segundo grau, cujo maior DC foi estimado na D de 154%, igual a 18,81 mm. O menor DC também foi na D de 0% (16,45 mm).

O aumento do diâmetro de colmo é importante fator não apenas do ponto de vista de sustentação da planta de milho, evitando acamamentos e consequentes perdas no momento da colheita, mas também, como importante estrutura de armazenamento de fotoassimilados, como por exemplo açúcares e o próprio nutriente potássio, que serão utilizados no crescimento e enchimento dos grãos (CARMO et al., 2012; PETTER et al., 2016).

Na Figura 4A, nota-se diferença no comportamento do DC aos 30 DAS quando se avalia as doses em cada fonte de K utilizadas. Para a fonte vinhaça concentrada (VC), o DC adequou-se a equação polinomial do segundo grau, cuja dose de 105% proporcionou o maior DC, estimado em 19,80 mm. Já para a fonte cloreto de potássio (KCl), o aumento da dose reduziu o DC na ordem de 0,36 mm a cada 50%. Assim, ocorreu a redução de 7,6% no DC quando comparadas as doses de 0 e 200%.

Ocorreu diferença estatística quando comparada as fontes utilizadas apenas nas D de 0% e 200% (Figura 4B), em que a fonte KCl proporcionou aumento de 14,6% no DC quando contrastada com a fonte VC na dose 0% e, redução de 6,3% na dose de 200%.



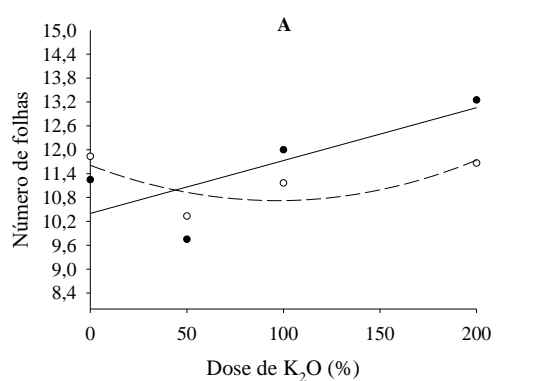
**Figura 4.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o diâmetro de colmo do milho (DC) aos 30 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.



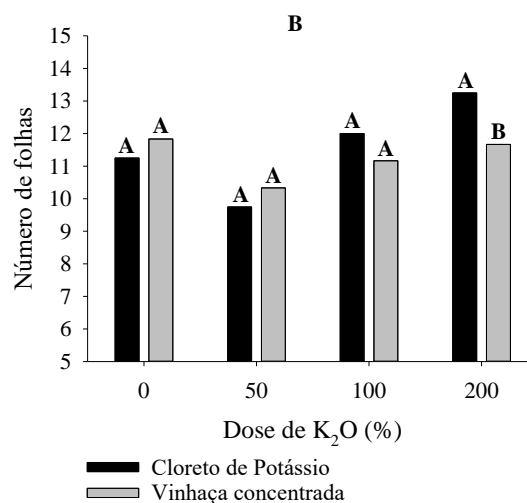
A diferença no DC entre as fontes VC e KCl na dose de 0%, na primeira avaliação, pode ser justificada pela sementeira manual nos vasos, e não garante uniformidade da profundidade da semente, acarretando variações nos parâmetros biométricos das plantas no início do seu crescimento e desenvolvimento.

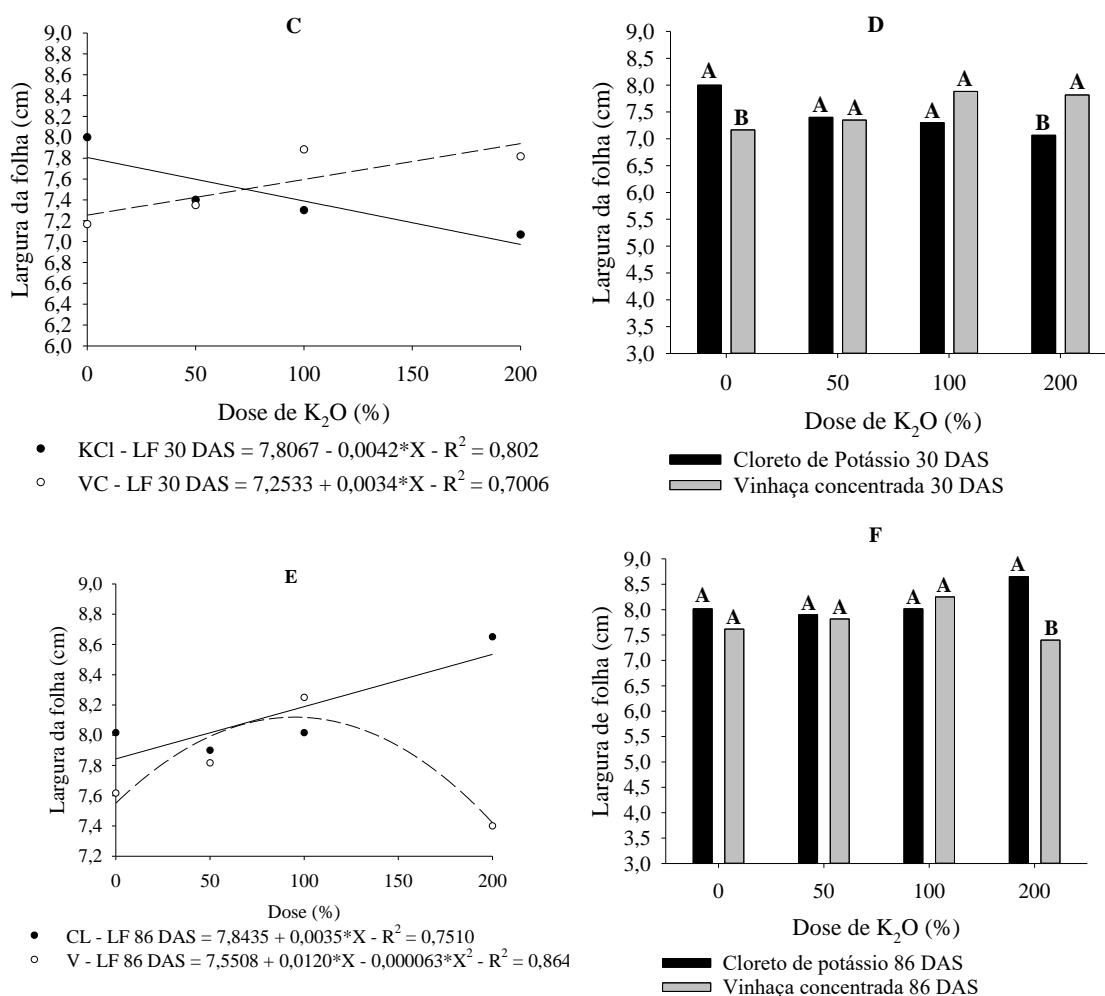
Observou-se comportamento semelhante no NF aos 86 DAS com relação aos modelos de regressão, porém, com comportamento dos dados inverso aos do DC, cuja dose de 97% estimou o menor NF, igual a 10,72, quando se utilizada a fonte VC (Figura 5A). Já para a fonte KCl, o aumento da dose estimou maiores quantidade de folhas na ordem de 0,67 folhas a cada 50% no aumento da dose. Assim, ocorreu aumento de 20,4% no NF quando se comparadas as doses de 0 e 200%.

Ocorreu diferença estatística quando comparada as fontes utilizadas apenas na D de 200% (Figura 5B), em que a fonte KCl apresentou 12% mais folhas quando contrastada com a fonte VC.



- KCl -  $NF = 10,4000 + 0,0133**X - R^2 = 0,6013$
- VC -  $NF = 11,6106 - 0,0184*X + 0,000095*X^2 - R^2 = 0,5545$





**Figura 5.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o número de folhas (NF) aos 86 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e, largura de folha (LF) do milho aos 30 (C e D) e 86 DAS (E e F), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Nota-se diferença no comportamento da LF aos 30 e 86 DAS quando comparada as duas fontes de K utilizadas. Para a fonte KCl, a LF adequou-se a equação polinomial do primeiro grau, cujo aumento da dose acarretou a redução da LF aos 30 DAS na ordem de 0,21 cm a cada 50% (Figura 5C) e, aumento na LF aos 86 DAS, na ordem de 0,18 cm (Figura 5E).

Essa redução na LF aos 30 DAS pode ser explicada pelo aumento da condutividade elétrica do solo conforme o aumento da dose de KCl, reduzindo o potencial osmótico do solo o que dificulta a absorção de água pelas raízes, sendo, fator limitante para o crescimento e induz modificações morfológicas e estruturais na planta de milho

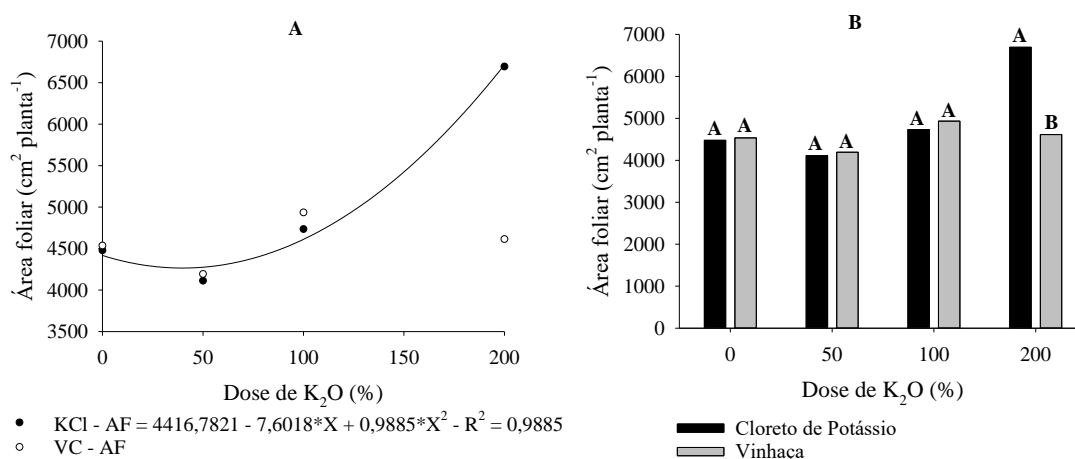
(AMORIM et al., 2002). Vale ressaltar, que aos 30 DAS havia passado apenas 15 dias da primeira aplicação das fontes de K.

Com relação à fonte VC, o comportamento da LF aos 30 DAS (Figura 5C) foi semelhante ao observado para a fonte KCl aos 86 DAS (5E), em que, a maior LF foi observada na D de 200%. Ocorrendo aumento de 0,17 cm na LF conforme o aumento de 50% da dose aplicada. Aos 86 DAS, para a fonte VC, a dose de 95% proporcionou a maior LF, igual a 8,12 cm (Figura 5E).

Ocorreu diferença estatística entre as fontes utilizadas na D de 0% aos 30 DAS e na D 200% aos 30 e 86 DAS (Figura 5D e 5F), em que a fonte KCl proporcionou aumento de 11,63% e 16,89% na LF quando contrastada com a fonte VC. Aos 30 DAS na dose de 200%, a vinhaça que obteve valores superiores de LF, na ordem de 10,62%.

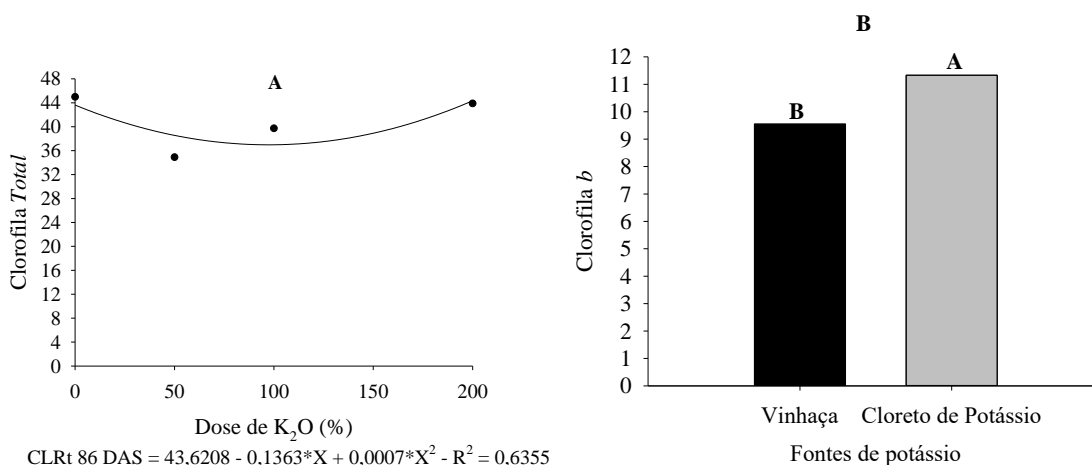
Para a fonte VC, os dados de AF aos 86 DAS não se adequaram aos modelos polinomiais de primeiro e segundo grau testados (Figura 6A). Na dose de 3,85%, foi estimada a menor AF para a fonte KCl, igual a 4431,4 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, cuja dose de 200% foi a que proporcionou a maior AF.

Ocorreu diferença estatística entre as fontes utilizadas apenas na D de 200%, em que a fonte KCl proporcionou aumento de 45% na AF quando comparada com a fonte VC (Figura 6B).



**Figura 6.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a área foliar do milho (AF) aos 86 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

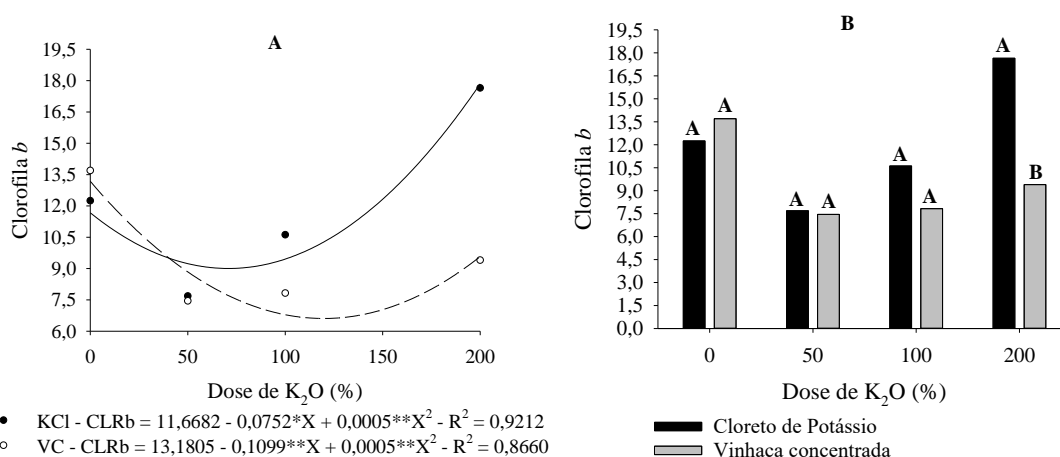
Com relação à Clorofila *total* (CLRt), houve diferença apenas em função das doses aos 86 DAS, em que os dados se adequaram a equação polinomial de segundo grau (Figura 7A). Estima que a dose de 97% proporcionou a menor quantidade de clorofilas nas folhas, igual a 37 índices de clorofila Falker (ICF). Aos 30 e 58 DAS, a média na quantidade total de clorofilas foi de 44,15 e 38,98 ICF, respectivamente.



**Figura 7.** Clorofila *total* (A) aos 86 dias após a semeadura (DAS) em função das doses de potássio e clorofila *b* (B) aos 30 DAS em função das fontes de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Correlações positivas entre doses e teores de clorofilas totais, tendem a ser observadas apenas para estudos com nitrogênio (DEBAEKE et al., 2006), devido o papel deste nutriente na síntese de clorofilas. Aos 30 DAS, as fontes tiveram influência na quantidade de Clorofilas *b* (CRL*b*), em que a fonte KCl apresentou 15,7% mais CRL*b* do que a fonte VC ao utilizar uma dose de 200% (Figura 7B).

Aos 86 DAS foi observado efeito interativo D x F, em que, as doses de 75% e 110% apresentaram as menores quantidades de CRL*b* nas fontes KCl e VC, estimada em 8,84 e 7,14 ICF, respectivamente (Figura 8A). Contudo, houve diferença significativa entre as fontes apenas na dose de 200%, na qual, a fonte KCl apresentou quantidade 87,77% superior de CRL*b* em comparação a fonte VC (Figura 8B).



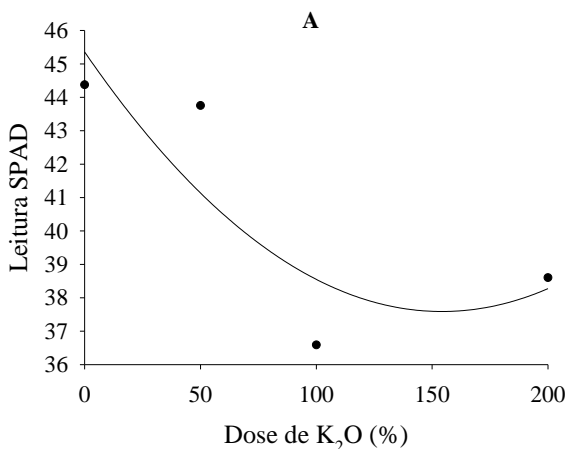
**Figura 8.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a clorofila *b* (CLR*b*) no milho aos 86 dias após a semeadura, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Houve apenas efeito isolado de D e F aos 30 DAS com relação a leitura SPAD, ao qual, a dose de 168% estimou o menor valor, igual a 37, enquanto a dose 0% o maior valor (Figura 9A). A fonte KCl proporcionou valor de leitura SPAD de 42, que corresponde a 5% superior ao observado na fonte VC (Figura 9B).

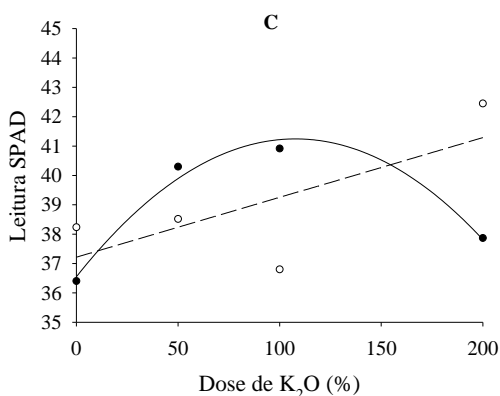
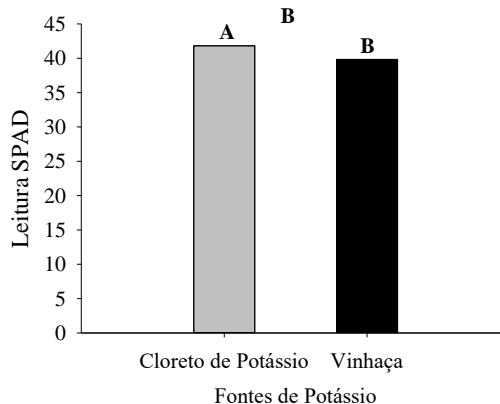
Aos 58 e 86 DAS, observou-se efeito interativo D x F para a leitura SPAD (Figura 9C, 9D, 9E e 9F). Nota-se diferença no comportamento do SPAD aos 58 e 86 DAS quando se compara as doses nas duas fontes de K utilizadas. Para a fonte KCl a leitura SPAD adequou-se a equação polinomial do segundo grau, cuja dose de 109% estimou a maior leitura SPAD aos 58 DAS (41,28) (Figura 9C) e a dose de 72% a menor leitura SPAD aos 86 DAS (37,38) (Figura 9E).

Com relação a fonte VC (Figura 9C), aos 58 DAS, o aumento da dose estimou aumento na leitura SPAD, na ordem de 2,58% (1,02) a cada aumento de 50% na dose de potássio aplicada. Aos 86 DAS, ocorreu o mesmo comportamento para a fonte VC, em que, a dose de 142% proporcionou, segundo a equação de regressão, a menor leitura SPAD, igual a 34 (Figura 9E).

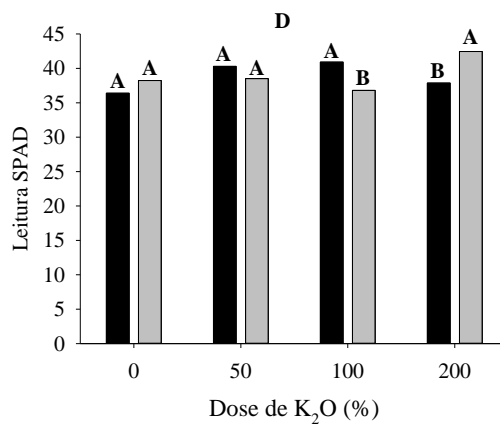
Ocorreu diferença estatística entre as fontes utilizadas apenas na D de 100% aos 58 DAS e na D 200% aos 58 e 86 DAS, em que a fonte KCl proporcionou aumento de 11,19% na D de 100% aos 58 DAS e 57,20% no SPAD aos 86 DAS na D de 200% e, a redução de 10,79% aos 58 DAS na dose de 200%, quando contrastada com a fonte VC (Figura 9D e 9F), respectivamente.



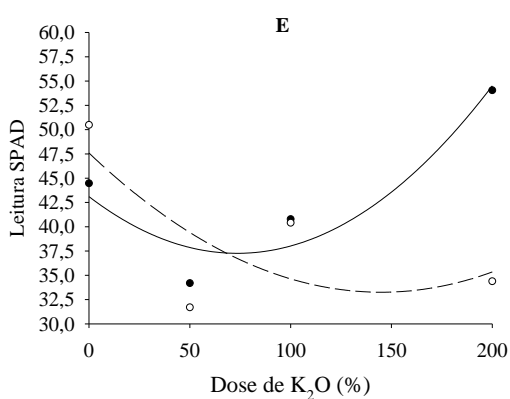
$SPAD = 45,3564 - 0,1008**X + 0,0003**X^2 - R^2 = 0,7330$



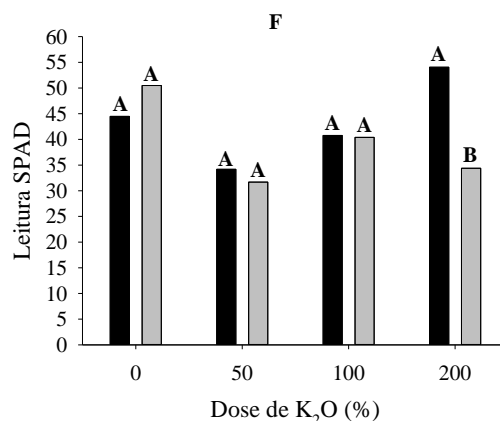
- KCl SPAD =  $36,5518 + 0,0870*X - 0,0004*X^2 - R^2 = 0,9789$
- VC SPAD =  $37,2162 + 0,0204*X - R^2 = 0,5175$



- Cloreto de Potássio 58 DAS
- Vinhaça concentrada 58 DAS



- KCl SPAD =  $43,0961 - 0,1586*X + 0,0011*X^2 - R^2 = 0,8874$
- VC SPAD =  $47,5961 - 0,1982**X + 0,0007*X^2 - R^2 = 0,5106$



- Cloreto de potássio 86 DAS
- Vinhaça concentrada 86 DAS

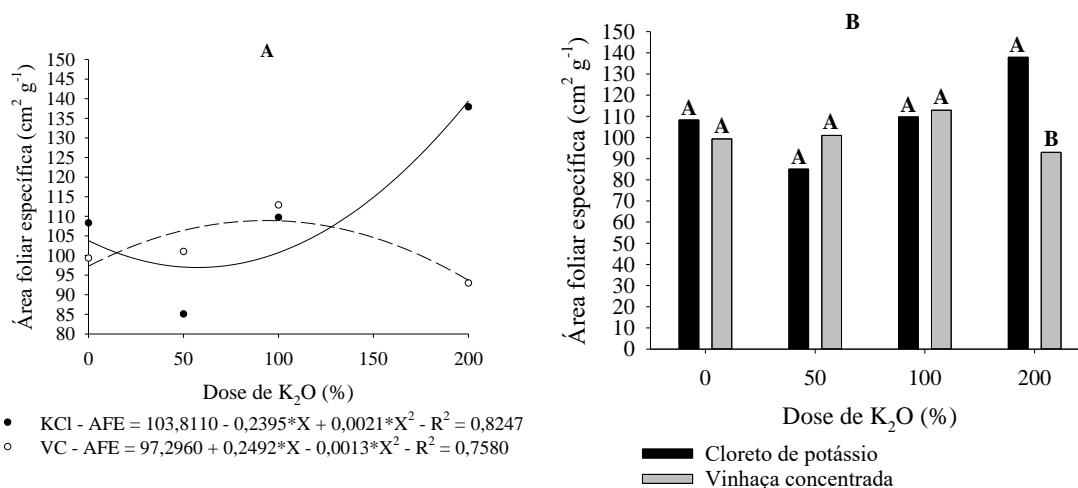
**Figura 9.** Leitura SPAD na folha de milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) em função das doses (A) e fontes (B) de potássio e, desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a leitura

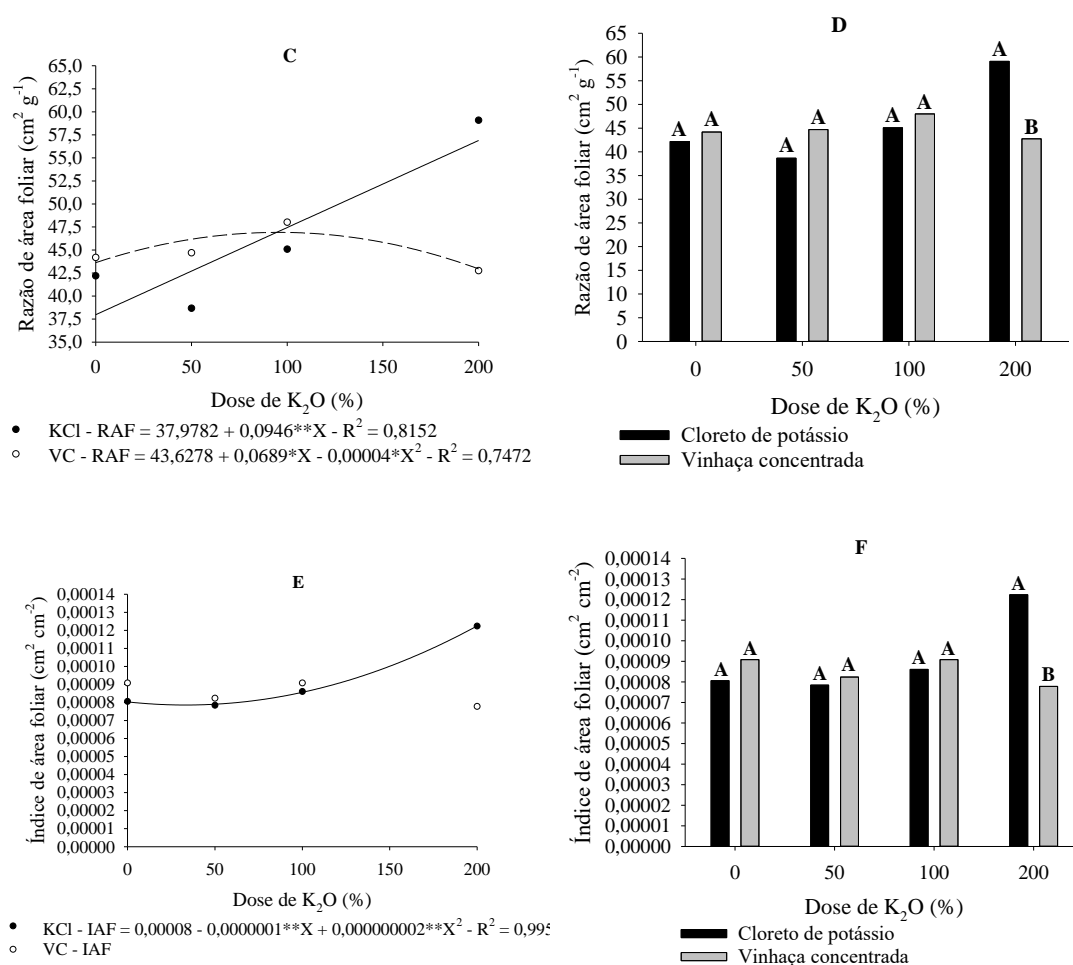
SPAD na folha de milho aos 58 (C e D) e 86 (E e F) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Petter et al. (2016) em estudo de doses e épocas de aplicação de potássio no milho concluíram não haver relação entre o aumento das doses e aumento do teor de clorofilas, podendo ocorrer até leve redução nestes teores, corroborando também com os resultados encontrados por Sousa et al. (2010).

### 3.3.2 Taxas de crescimento

Com relação aos parâmetros de crescimento do milho, houve efeito interativo doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), índice de área foliar (IAF), taxa de assimilação líquida (TAL) e taxa de crescimento da cultura (TCC). Com relação à AFE, as doses de 57% e 96% estimaram o menor e o maior valor para as fontes KCl e VC, iguais a 96,98 e 109,23  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 10A). Contudo, houve diferença significativa entre as fontes apenas na dose de 200%, na qual, a fonte KCl apresentou uma AFE 33% maior em comparação à fonte VC (Figura 10B).





**Figura 10.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a área foliar específica (AFE) (A e B), razão de área foliar (RAF) (C e D) e o índice de área foliar (IAF) (E e F) da planta de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

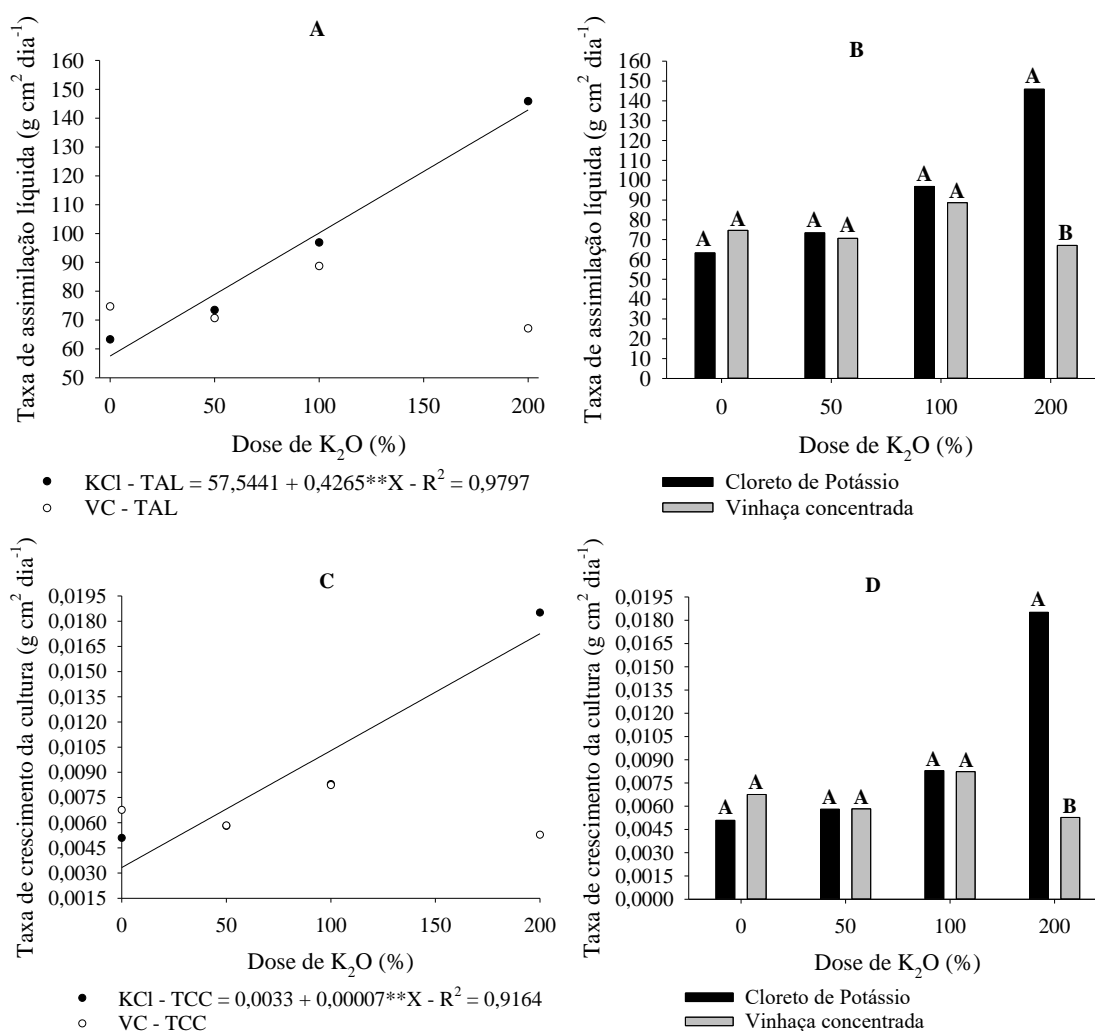
Na Figura 10B, observa-se a RAF em função das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  para cada fonte utilizada. Para a fonte KCl estimou incrementos de  $4,73 \text{ cm}^2 \text{g}^{-1}$  na RAF para cada aumento de 50% na dose, em que o maior valor foi constatado na dose de 200%, igual a  $56,90 \text{ cm}^2 \text{g}^{-1}$ . Para a fonte VC, a dose 86% promoveu a maior RAF, estimada em  $46,6 \text{ cm}^2 \text{g}^{-1}$ . Da mesma forma que para a AFE, ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 200% (Figura 10D), cuja fonte KCl apresentou RAF 28% maior que a fonte VC, com valores iguais a 59 e  $43 \text{ cm}^2 \text{g}^{-1}$ , respectivamente.

Para a fonte VC, os dados de IAF não se adequaram a nenhum dos modelos de regressão testados (Figura 10E). O menor IAF foi observado na dose de 25%, sendo igual



a  $0,0008 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$ , para a fonte KCl. Da mesma forma que para a AFE e RAF, ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 200% (Figura 10F), sendo a fonte KCl apresentou IAF 36% maior que a fonte VC, com valores iguais a  $0,0001$  e  $0,00008 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$ , respectivamente.

Conforme observado na Figura 11A e 11C os resultados de TAL e TCC para a fonte VC não se adequaram aos modelos de equações testadas. Para a fonte KCl o aumento de 50% da dose acarretou no incremento estimado da TAL e TCC na ordem de 21 e 35%, correspondendo aos valores de  $21,32$  e  $0,0037 \text{ g cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ , a dose de 200% proporcionou os maiores valores para estes parâmetros, estimado em  $142,84$  e  $0,017 \text{ g cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente (Figura 11A e 11C).



**Figura 11.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a taxa de assimilação líquida (TAL) (A e B) e taxa de crescimento da cultura (TCC) (C e D), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Conforme ocorreu para todos os parâmetros de crescimento interação D x F, observou-se diferença estatística entre as fontes apenas na dose de 200% (Figura 11B e 11D), cuja a fonte KCl apresentou TAL e TCC 54% e 71,5% maior que a fonte VC, com valores iguais a 145,88 e 0,019 g cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> para a fonte CL e, 67,11 e 0,005 cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> para a fonte VC, respectivamente.

Para todos os parâmetros avaliados, independente da época, ocorreu melhor desempenho da fonte KCl apenas na dose de 200%, nas demais, não houve diferença entre as doses. Segundo Basso et al. (2013), a utilização da vinhaça em cultivos subsequente com milho pode substituir a adubação mineral com KCl, mesmo com doses de até 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça *in natura*, não ocorrendo alterações nos atributos químicos do solo.

### 3.4 CONCLUSÕES

Independente da fonte utilizada (vinhaça concentrada ou cloreto de potássio), a dose de 200% da recomendada de potássio proporciona a maior altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento da folha, número de folhas e área foliar no final do ciclo do milho.

O cloreto de potássio na dose de 200% proporciona maior número de folhas, largura de folha e área foliar no final do ciclo do milho, em comparação com a vinhaça concentrada.

Independente da fonte utilizada (vinhaça concentrada ou cloreto de potássio), a dose de 200% de potássio proporciona a maior quantidade de Clorofilas *totais* no final do ciclo do milho.

A dose de 200% proporciona a maior área foliar específica, razão de área foliar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida e taxa de crescimento da cultura quando na fonte cloreto de potássio, para a vinhaça concentrada as doses de 96 e 86% apresentam os maiores valores para a área foliar específica e razão de área foliar para a planta de milho.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, JR; FERNANDES, PD; GHEYI, HR; AZEVEDO, NC. 2002. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 37(2):167-176.

BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; SOMAVILLA, L.; BRIGO, T. J. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.43, n.4, abr, 2013.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-60, 1919.

CARMO, M.S., CRUZ, S.C.S., SOUZA, E.J., CAMPOS, L.F.C., MACHADO, C.G. 2012. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, 28(Supplement 1): 223–231.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Norma técnica P4.231/2005. Decisão de Diretoria – D.D. n°. 035/2005/E, de 09/03/2005. Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231\\_Vinha%C3%A7a\\_-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231_Vinha%C3%A7a_-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf)>. Acesso em: 08/08/2019.

CRUZ, Z. S.; ANDRADE, I. C. B.; SOUZA, R. R.; FACCIOLI, G. G. Efluentes da indústria canavieira do estado de Sergipe. **Revista Exata e Tecnológica**, v.2, n.2, p.27-36, 2016.

DEBAEKE, P., ROUET, P., JUSTES, E. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. **Journal of Plant Nutrition**, 29(1): 75–92.

FALKER Automação Agrícola Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofla (ClorofLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker, 2008. 33p.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **BDMEP: Dados históricos**. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 05 de março de 2019.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

MAGALHÃES, A. C. N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M. G. *Fisiologia Vegetal*. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v. 1, p. 331-350.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014. 35 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) apresentado a Universidade Federal de Alfenas - Campus Poços de Caldas, 2014.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Editorial 2006. p.369-375.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JÚNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 3, p.55-59, jul./set. 2018.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; et al. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, v. 41, junho, 2014.

MINOLTA. Camera Co. Ltd., Chlorophyll meter SPAD-502. **Instruction manual**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22p.

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 agrônomo do milho no cerrado piauiense. **Com. Sci.**, Bom Jesus, v.7, n.3, p.372-382, Ago./Out. 2016. DOI: 10.14295/CS.v7i3.1218

RAIJ, B. Van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico 100).

RIBEIRO, P. H. P.; LELIS NETO, J. A.; TEIXEIRA, M. B.; GUERRA, H. O. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N. Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em Latossolo vermelho amarelo e Nitossolo vermelho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.5, p.403 - 410, 2014.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.609-616, 2011.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 39, n.2, p.172-179, 2016.

SILVA, S. F. **Uso da vinhaça na cultura do milho: efeitos no solo, nos teores nutricionais do tecido foliar e na produção durante três safras**. 2017. 92 f. Tese

(Produção vegetal) apresentado ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo – ES, 2017.

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

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, J.V., RODRIGUES, C.R., LUZ, J.M.Q., CARVALHO, P.C., RODRIGUES, T.M., BRITO C.H. 2010. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, 26(4): 502–513.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

## 4 CAPÍTULO II

### PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E GRÃOS DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO

#### RESUMO

É necessário suprir as quantidades extraídas de nutrientes pela cultura para alcançar altas produtividades, sendo, de fundamental importância o suprimento desses nutrientes em adequada proporções. Portanto, surge como opção a fertilização do solo em cultivos de milho nas usinas de produção de etanol, com a vinhaça originária da produção de etanol de cana-de-açúcar. Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar na produção de matéria seca e de grãos pela cultura do milho, além da eficiência técnica e econômica destes adubos. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho. Não ocorre influência das doses e das fontes de potássio no acúmulo de matéria seca das folhas, colmo e parte aérea na colheita do milho. A dose de 100% independentemente da fonte utilizada, proporciona maior massa seca de sabugo, massa seca de grãos, massa seca de grãos por espiga, produtividade de grãos, quantidade de sacas produzidas por hectare e índice de colheita do milho. A máxima eficiência técnica e econômica para o cloreto de potássio é obtida nas doses de 120 e 116% e, para a vinhaça concentrada, na dose de 139%. A dose que apresenta o maior índice de eficiência agrônoma para a vinhaça é a de 100% da recomendação de potássio por hectare para a cultura do milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., adubação potássica, eficiência agrônoma.

#### ABSTRACT

It is necessary to supply the amounts of nutrients extracted by crop to achieve high yields, being of fundamental importance of these nutrients supply in adequate proportions. Therefore, it appears as an option to fertilize the soil in corn crops in ethanol production plants, with vinasse originating from sugarcane ethanol production. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the comparative effect between potassium chloride and potassium chloride organic fertilization with concentrated sugarcane vinasse in the dry matter and grain production by corn crop, besides the technical and economic

efficiency of these fertilizers. The experiment was carried out in open - air plastic pots at the experimental station of the Goiano Federal Institute - Campus Rio Verde - GO. The soil used was classified as dystroferic Red Latosol, Cerrado phase, of clay texture. The experimental design was randomized blocks, analyzed in a 2 x 4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of two potassium sources (concentrated vinasse and potassium chloride) and four potassium doses referring to 0, 50, 100 and 200% of the recommendation for corn crop. There is no influence of potassium doses and sources on leaf, stem and shoot dry matter accumulation in corn harvest. The 100% dose, regardless of the source used, provides higher corn dry mass, dry grain mass, dry grain mass per ear, grain yield, quantity of bags produced per hectare, and corn harvest index. The maximum technical and economical efficiency for potassium chloride are obtained at doses of 120 and 116% and for concentrated vinasse at 139%. The dose with the highest agronomic efficiency index for vinasse is 100% of the potassium recommendation per hectare for corn cultivation.

**Keywords:** *Zea mays* L., potassium fertilization, agronomic efficiency.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o milho é um dos principais cereais cultivados no mundo, tendo em vista sua versatilidade de produtos e subprodutos gerados (MORAIS et al., 2018). A produção total de milho no Brasil foi de 97.010,4 mil toneladas, com produtividade média de 5.605 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2018/19 (CONAB, 2019), a qual pode ser aumentada sem o emprego de tecnologias adequadas.

Contudo, é necessário suprir as quantidades extraídas de nutrientes pela cultura para alcançar altas produtividades, sendo, de fundamental importância o suprimento desses nutrientes em adequada proporções. Os solos tropicais normalmente são deficientes em K, quando cultivados com milho demandam adubação potássica para a obtenção de produtividades satisfatórias (SERAFIM et al., 2012), além de ser o segundo nutriente mais requerido pela cultura do milho (COELHO et al., 2007), superado apenas pelo nitrogênio.

Segundo Matos e Pessôa (2014) o desenvolvimento de tecnologias de melhorias na fertilidade dos solos da região do Cerrado, favoreceu a produção em larga escala de milho como de outros grãos tornando-os rentáveis. Fruto da boa estabilidade produtiva do milho e da inovação tecnológica, a produção de etanol de milho no país vem ganhando destaque e cresceu mais de 532% nos últimos quatro anos, apenas na safra 2016/2017 alcançou-se a produção de 234.147 m<sup>3</sup> de etanol do grão deste cereal. Atualmente, apenas dois estados produzem etanol a partir do milho no país, Goiás conta com duas usinas e o

Mato Grosso possui três unidades produtoras em 2017 (CANAL – JORNAL DA BIOENERGIA, 2017).

A crescente demanda de produção em áreas agrícolas tem intensificado de forma expressiva o uso de fertilizantes minerais. Pensando nisso, são necessárias práticas de manejo que potencializem a eficiência na utilização dos recursos naturais e insumos agrícolas, principalmente fertilizantes, para que haja economia de insumos, aumento da produtividade e maior eficiência econômica (HOCHMAN et al., 2013).

Portanto, surge como opção a fertilização do solo em cultivos de milho nas usinas de produção de etanol, a vinhaça originária da produção de etanol de cana-de-açúcar, sua deposição sobre o solo pode promover a melhoria de sua fertilidade. Porém, quando usada para este fim, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons. Dessa forma, devem-se mensurar as dosagens de acordo com as características intrínsecas de cada solo, uma vez que este possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer lixiviação de vários íons, principalmente do nitrato e potássio (SILVA et al., 2007). A quantidade aplicada de vinhaça está regulamentada pela norma paulista para vinhaça “Norma Técnica P.4231” (CETESB, 2006). Tal norma, baseia-se na saturação de potássio (K) e na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (SILVA et al., 2019).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar na produção de matéria seca e de grãos pela cultura do milho, além da eficiência técnica e econômica destes adubos.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Características e Localização da Área Experimental**

O experimento foi realizado nas seguintes coordenadas geográficas de 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar e um clima classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

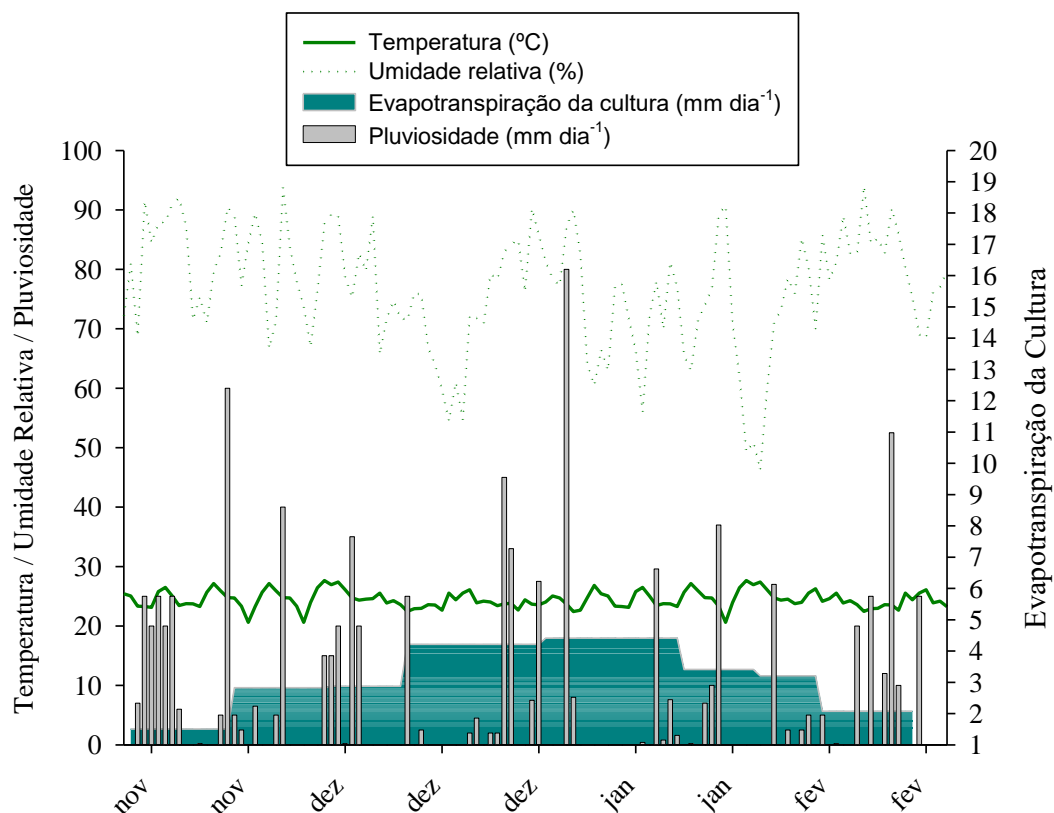


O experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus Rio Verde* – GO em vasos plásticos, dispostos a céu aberto (Figura 1).



**Figura 1.** Localização do experimento na área do IF Goiano – Campus Rio Verde.

A precipitação pluvial observada durante os meses de cultivo do milho na safra 2018/19: novembro (267,30 mm); dezembro (241,20 mm); janeiro (182,30 mm); fevereiro (186,70 mm), conforme Figura 2.



**Figura 2.** Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).

Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

#### 4.2.2 Caracterização do Solo

Os vasos foram preenchidos com um solo coletado numa camada de 0,0-0,30 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), cujas características físico-químicas desse solo se encontram na Tabela 1, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade.

Prof. (m)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl <sub>2</sub>
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>				pH
0,0-0,3	4,3	1,2	5,5	0,00	2,5	0,17	67	9,9	55,3	5,6
Prof. (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC <sup>a</sup>	SB <sup>b</sup>	V% <sup>c</sup>	m% <sup>d</sup>
	Micronutrientes (mg dm <sup>-3</sup> )					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Sat. Bases	Sat. Al	

0,0- 0,3	0,0	19,9	9,3	2,95	1,65	0,06	8,2	5,7	69,1	0,00
Prof.	Textura (g kg <sup>-1</sup> )			M.O. <sup>e</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
(m)	Argila	Silte	Areia	g dm <sup>-3</sup>	----- Relação entre bases -----					
0,0- 0,3	502	49	449	27,6	3,6	25,3	7,1	0,5	0,2	0,02

P (Fósforo) = Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio) = KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; S (Enxofre) = Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>; M.O. = Método colorimétrico; B (Boro) = água quente.

<sup>a</sup>Capacidade de troca catiônica; <sup>b</sup>soma de bases; <sup>c</sup>saturação de bases; <sup>d</sup>saturação de alumínio; <sup>e</sup>Matéria orgânica.

#### 4.2.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 4 x 2, com três repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho (expectativa de rendimento de 12 t ha<sup>-1</sup>) na região de Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2004) e duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio), totalizando 24 parcelas experimentais, sendo que, cada parcela foi constituída por cinco vasos com duas plantas, totalizando 120 unidades experimentais. O critério para o cálculo da dose por vaso foi o de número de plantas, em que, considerou-se a população de 75.000 plantas por hectare.

#### 4.2.4 Implantação do experimento

Foram utilizados vasos plásticos de polietileno com capacidade de 25 L, com um dreno com espessura de 4 cm de brita nº1 e preenchido com 32 kg de solo (ds = 1,35 g cm<sup>-3</sup>).

Elevou-se as umidades do solo até a capacidade de campo, quando foram plantadas 10 sementes de milho Híbrido SYN522 VIP3 por vaso, e realizou-se o desbaste aos 15 dias após a semeadura (DAS), deixando apenas duas plantas por vaso, mantidas até o final do ciclo da cultura.

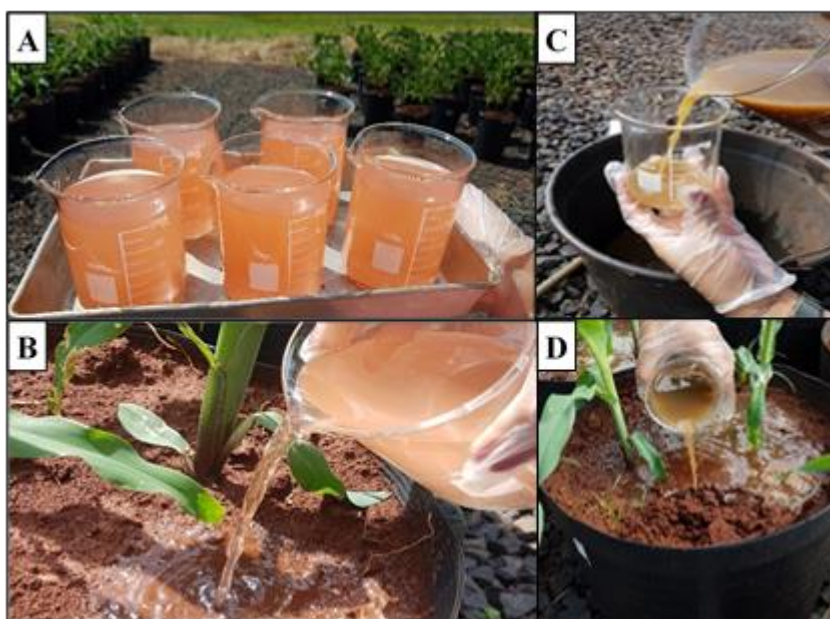
#### 4.2.5 Correção e adubação do solo

Aos 30 dias antes da semeadura foi efetuada a correção do pH do solo aplicando-se calcário filler calcítico na dose de 2 t ha<sup>-1</sup>, correspondendo a aplicação de 65 g vaso<sup>-1</sup>, segundo a metodologia de elevação da saturação por bases para 70%.

No sulco de semeadura todas as unidades experimentais foram adubadas com fósforo e nitrogênio e, nos estádios fenológicos do milho V4 e V6 (4 e 6 folhas totalmente desenvolvidas), realizou-se a adubação de cobertura apenas com nitrogênio, segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004): 67 kg ha<sup>-1</sup> (1,78 g vaso<sup>-1</sup>) de N-ureia na semeadura e 1300 kg ha<sup>-1</sup> (36,92 g vaso<sup>-1</sup>) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-super simples e, 155 kg ha<sup>-1</sup> (4,14 g vaso<sup>-1</sup>) de N-ureia dividido em duas aplicações na cobertura.

#### 4.2.6 Aplicação dos tratamentos

Os tratamentos (doses e formas de potássio) foram aplicados na cobertura do milho via fertirrigação, nos estádios fenológicos V4 e V6 (Figura 3), conforme a recomendação de Sousa e Lobato (2004) (90 kg ha<sup>-1</sup> de potássio). A fonte cloreto de potássio utilizada foi o granulado de coloração avermelhada, com concentração de 60% de K<sub>2</sub>O.



**Figura 3.** Aplicação do cloreto de potássio (A e B) e da vinhaça concentrada (C e D).

A vinhaça concentrada utilizada no experimento foi proveniente da usina Raízen – Unidade Jataí, cuja análise química completa da vinhaça foi realizada no início do experimento, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização físico-química da vinhaça utilizada no estudo.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	S	C.O.
---	-------------------------------	------------------	----	----	----	---	------

----- Macronutrientes (g dm <sup>-3</sup> ) -----							g dm <sup>-3</sup>
3,12	1,56	15,72	2,04	1,32	-	3	51,84
Fe	Mn	Cu	Zn	pH	Densidade	M.S.	
----- Micronutrientes (g kg <sup>-1</sup> ) -----					-	g L <sup>-1</sup>	%
0,24	<0,1	<0,1	<0,1	4,0	1,2	-	

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Fósforo) = Mehlich 1, K<sub>2</sub>O (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Melich 1; Ca (Cálcio) e Mg (magnésio) = KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; S (Enxofre) = Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>; C.O. (Carbono orgânico) = Método colorimétrico.

## 4.2.7 Variáveis analisadas

### 4.2.7.1 Acúmulo de matéria seca

O acúmulo de matéria seca na parte aérea pelas plantas de milho foi avaliado aos 30, 58, 86 e 114 dias após a semeadura (DAS). Foi quantificado: matéria seca das folhas (MSF – g planta<sup>-1</sup>); matéria seca do colmo (MSC - g planta<sup>-1</sup>) e a matéria seca da parte aérea (MSPA - g planta<sup>-1</sup>).

Para determinação destas variáveis, após desbaste as plantas foram divididas em folha e caule, posteriormente acondicionadas em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por período de 72 horas, e em seguida, as massas secas foram determinadas em balança analítica de precisão com resolução de 0,001 g.

Com estes resultados, foi possível o cálculo das relações entre massas (partição de fotoassimilados): MSF/MSC; MSF/MSPA e MSC/MSPA.

### 4.2.7.2 Componentes de Produção

Por ocasião da colheita, foram determinados: Número de espigas por planta (NESP); Comprimento de espiga (CESP – cm); Diâmetro de espiga (DESP – mm); Número de fileiras de grãos (NFG); Número de grãos por fileira (NGF); Diâmetro do sabugo (DSBG - mm); Comprimento do sabugo (CSBG – cm); Massa seca do sabugo (MSSBG – g planta<sup>-1</sup>); Tamanho do grão (TG – mm); Massa seca dos grãos (MSG - g planta<sup>-1</sup>); Massa seca dos grãos por espiga (MSGESP – g espiga<sup>-1</sup>); Produtividade de grãos (PROD – kg ha<sup>-1</sup>) e a quantidade de sacas por hectare (SCHA).

O TG foi mensurado a partir da diferença entre o DESP e o DSBG através da equação (1):

$$TG = \frac{DESP - DSBG}{2} \quad (1)$$

Em que: TG: tamanho do grão (mm); DESP: diâmetro da espiga (mm); DSBG: diâmetro do sabugo (mm).

Os grãos foram acondicionados em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por período de 72 h. A umidade para o cálculo de produção de grãos foi corrigida a 13% em base úmida. A MSG e a MSGESP foram determinadas em balança analítica de precisão com resolução de 0,001 g.

A produção por hectare e a quantidade de sacas produzidas, foram estimadas através das Equações 2 e 3 e, o índice de colheita (IC) pela Equação 4:

$$PROD = MSGESP \times NESP \times 75.000 \quad (2)$$

$$SCHA = PROD / 60 \quad (3)$$

$$IC = \frac{MSG}{MSPA + MSG} \quad (4)$$

Em que: PROD: produtividade de grãos com 13% de umidade (kg ha<sup>-1</sup>); MSGESP: massa seca de grãos por espiga (kg espiga<sup>-1</sup>); NESP: número de espigas por planta; 75.000: número de plantas por hectare; SCHA: quantidade de sacas de 60 kg produzidas por hectare; 60: fator de conversão para sacas de 60 kg; IC: índice de colheita; MSG: massa seca de grãos (g planta<sup>-1</sup>); MSPA: matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>).

#### 4.2.7.3 Índice de eficiência agronômica e econômica

Foi obtida a máxima eficiência técnica (Equação 5) e a máxima eficiência econômica (Equação 6) do cloreto de potássio e vinhaça, com relação a produtividade de grãos:

$$MET = -\frac{b_1}{2 \times b_2} \quad (5)$$

$$MEE = \frac{\left(\frac{t}{w} - b_1\right)}{2 \times b_2} \quad (6)$$

Em que: MET: máxima eficiência técnica;  $b_1$  e  $b_2$ : coeficientes da equação de regressão; MEE: máxima eficiência econômica;  $t$ : valor do insumo (R\$ kg<sup>-1</sup>);  $w$ : valor do produto – grãos (R\$ kg<sup>-1</sup>).

Foi considerado para a aplicação da vinhaça um custo de R\$ 8,00 por metro cúbico, englobando tratamento, armazenamento, transporte e aplicação e, para o cloreto de potássio, R\$ 1.500,00 a tonelada, sendo, a compra, frete e aplicação (BRASIL, 2013). O valor do produto estava cotado a R\$ 30,00 a saca de 60 kg (CONAB, 2019).

Para a fonte vinhaça foi calculado o seu índice de eficiência agronômica (Equação 7) (GAVA et al., 1997) e, a produtividade de grãos relativa em função da dose de potássio (Equação 8) e produtividade obtida pelo cloreto de potássio (Equação 9):

$$IEA = \frac{P_r - P_o}{P_s - P_o} \times 100 \quad (7)$$

Em que: IEA: índice de eficiência agronômica (%);  $P_r$ : produtividade de grãos obtida pela vinhaça, na dose  $n$  (kg ha<sup>-1</sup>);  $P_o$ : produtividade de grãos obtida pelo cloreto de potássio, na dose  $n$  (kg ha<sup>-1</sup>);  $P_s$ : produtividade de grãos no tratamento sem adubação (kg ha<sup>-1</sup>).

$$PRDP = \frac{PROD}{DP} \quad (8)$$

$$PRV = \frac{PRODv}{PRODcl} \quad (9)$$

Em que: PRDP: produtividade relativa em função da quantidade de potássio aplicada na dose  $n$  (kg kg<sup>-1</sup>); PROD: produtividade de grãos obtida pela fonte na dose  $n$  (kg ha<sup>-1</sup>); DP: quantidade de potássio aplicada na dose  $n$  (kg ha<sup>-1</sup>); PRV: produtividade relativa obtida pela vinhaça em função da produtividade obtida pelo cloreto de potássio na dose  $n$  (kg kg<sup>-1</sup>); PRODv: produtividade de grãos obtida pela vinhaça na dose  $n$  (kg ha<sup>-1</sup>); PRODcl: produtividade de grãos obtida pelo cloreto de potássio na dose  $n$  (kg ha<sup>-1</sup>).

#### 4.2.8 Análises Estatísticas

Os dados das matérias secas obtidos em cada fase de desenvolvimento e das variáveis produtivas foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis doses (D). Para o fator fontes (F), as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

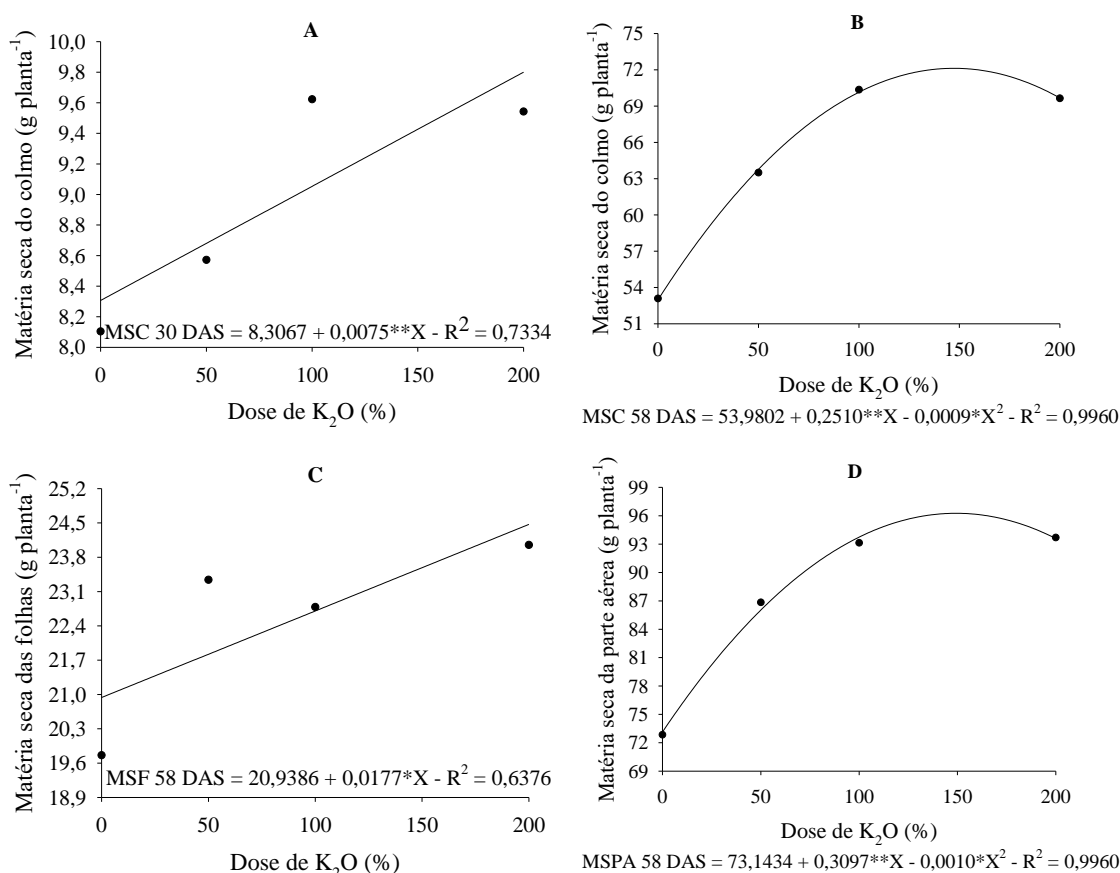
#### 4.3.1 Produção de matéria seca

Não ocorreu efeito significativo das diferentes doses e fontes de potássio no momento da colheita, 114 dias após a semeadura (DAS), para a variável acúmulo de matéria seca do milho. No entanto, houve efeito interativo doses (D) x fontes (F) de potássio para a matéria seca das folhas (MSF) e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 30 e 86 DAS e, para a matéria seca do colmo (MSC) aos 86 DAS. Para as mesmas variáveis citadas, aos 58 DAS, houve efeito isolado das doses.

Para a MSF aos 58 DAS (Figura 4C) e MSC aos 30 DAS (Figura 4A), a cada aumento de 50% na dose ocorreu incrementos estimado para a MSF de 4,22% (0,89 g planta<sup>-1</sup>) e de 4,51% para MSC (0,38 g planta<sup>-1</sup>), em que, a dose de 200% apresentou uma MSF e MSC estimados em 24,48 g planta<sup>-1</sup> e 9,81 g planta<sup>-1</sup>, representado aumento de 16,91% e 18% em relação a MSF e MSC na dose de 0%, respectivamente.

A MSC e MSPA aos 58 DAS adequaram-se a equação polinomial de segundo grau, em que as doses de 139 e 155% apresentaram os maiores valores para estas variáveis, estimados em 70,5 e 97,12 g planta<sup>-1</sup> (Figura 4B e 4D), respectivamente.

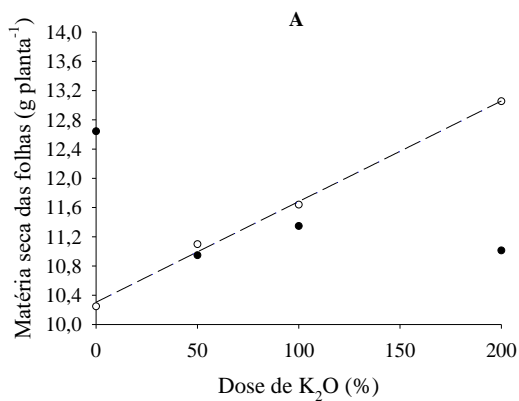




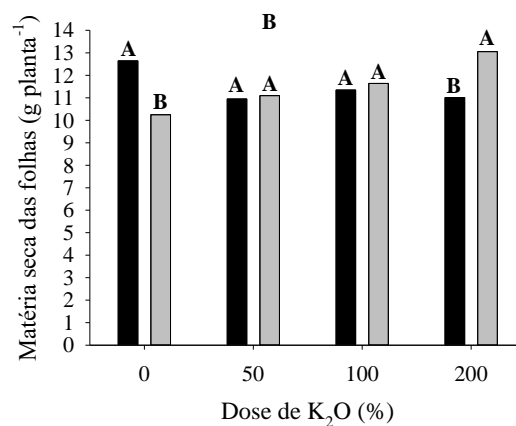
**Figura 4.** Matéria seca do colmo (MSC) aos 30 (A) e 58 (B) dias após a semeadura (DAS), matéria seca das folhas aos 58 DAS (C) e matéria seca da parte aérea (MSPA) do milho aos 58 DAS (D), em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Com relação a MSF aos 30 DAS para a fonte cloreto de potássio (KCl) e aos 86 DAS para a fonte vinhaça (VC), os dados não se adequaram aos modelos de regressão testados (Figura 5A e 5C). Para a fonte VC aos 30 DAS e KCl aos 86 DAS o aumento de 50% na dose proporcionou incrementos estimados de 0,69 e 2,55 g planta<sup>-1</sup> na MSF, em que os maiores valores foram observados, segundo a equação de regressão (Figura 5A e 5C), na dose de 200%, iguais a 13,1 e 37,14 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

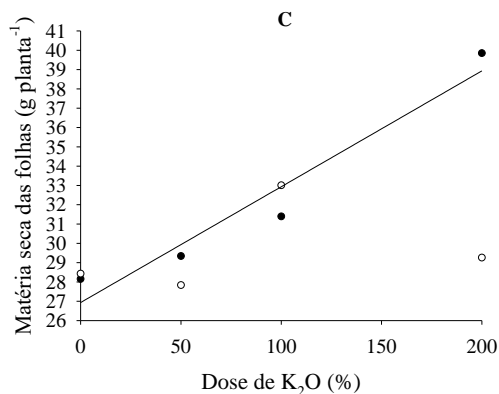
Ocorreu diferença entre as fontes dentro da dose 0% aos 30 DAS, sendo, a fonte KCl 18,94% superior na MSF em relação a VC, com valores iguais a 12,64 e 10,25 g planta<sup>-1</sup> (Figura 5B). Na dose de 200%, aos 30 DAS a VC se mostrou superior 18,55% (13,06 g planta<sup>-1</sup>) à fonte KCl (11,01 g planta<sup>-1</sup>). Aos 86 DAS, a fonte KCl foi superior 26,58% (Figura 5D).



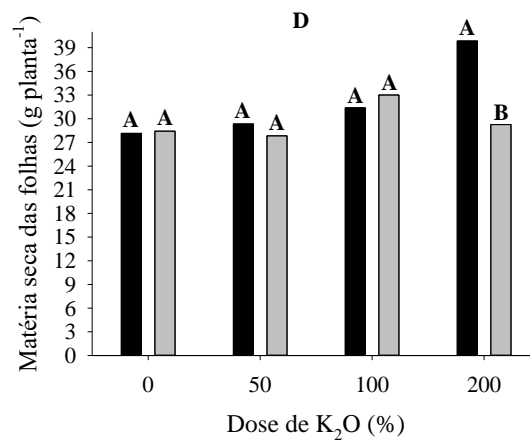
- CL - MSF 30 DAS
- VC - MSF 30 DAS =  $10,3050 + 0,0138**X - R^2 = 0,9961$



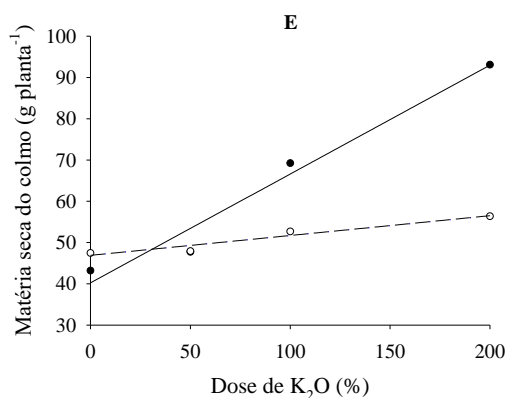
- KCl - MSF 30 DAS
- VC - MSF 30 DAS



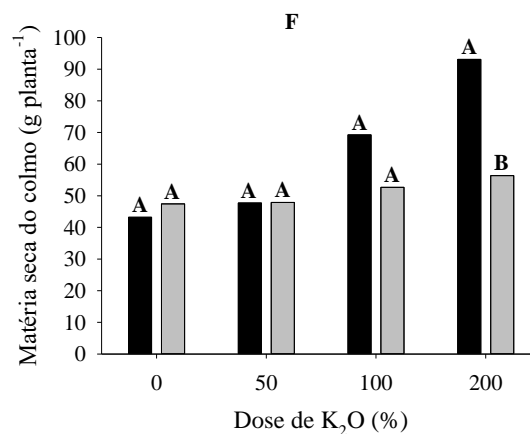
- KCl - MSF 86 DAS =  $26,9352 + 0,0510**X - R^2 = 0,9396$
- VC - MSF 86 DAS



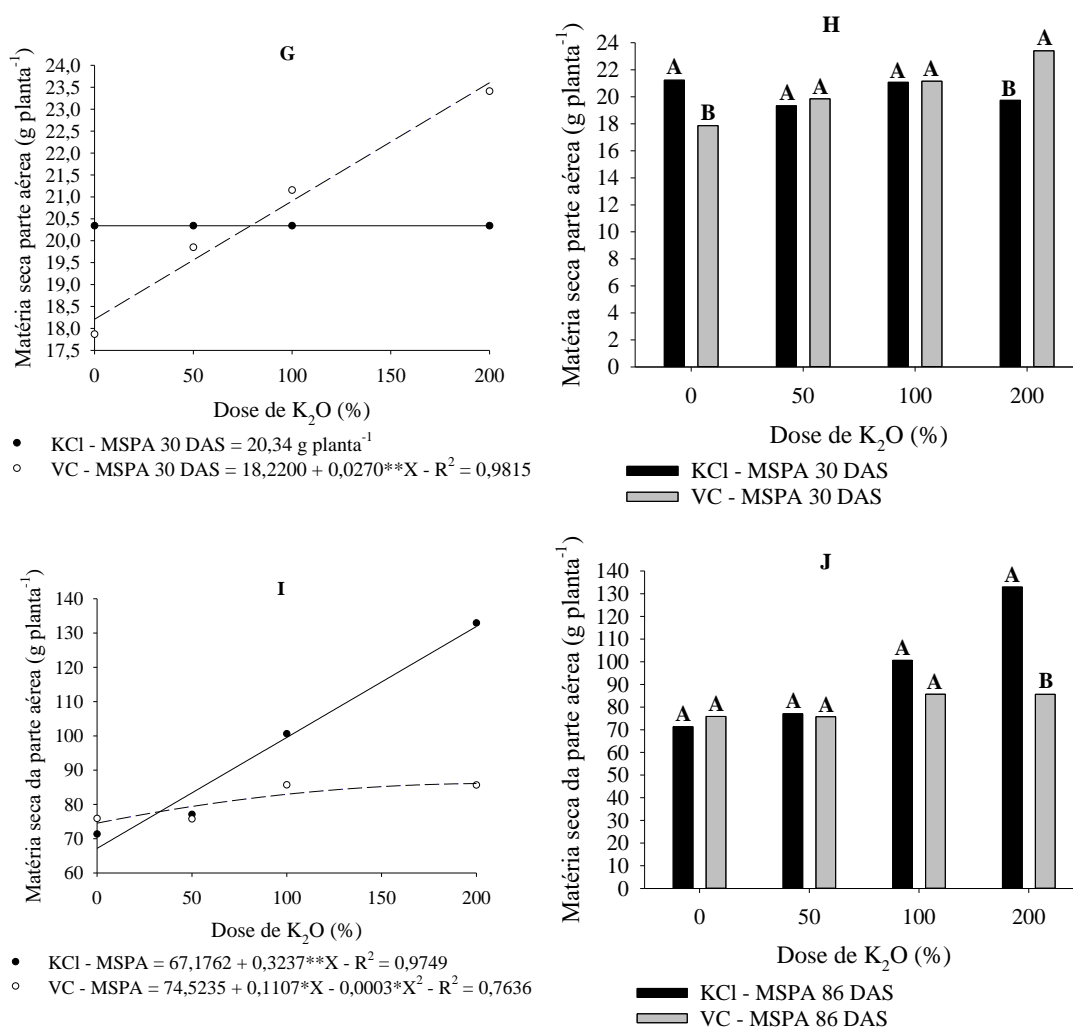
- KCl - MSF 86 DAS
- VC - MSF 86 DAS



- KCl - MSC 86 DAS =  $40,2410 + 0,2637**X - R^2 = 0,9694$
- VC - MSC 86 DAS =  $46,4043 + 0,0480*X - R^2 = 0,9403$



- KCl - MSC 86 DAS
- VC - MSC 86 DAS



**Figura 5.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a matéria seca das folhas (MSF) aos 30 (A e B) e 86 (C e D) dias após a semeadura (DAS), matéria seca do colmo (MSC) aos 86 DAS (E e F) e matéria seca da parte aérea (MSPA) do milho aos 30 (G e H) e 86 (I e J) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Para a MSC aos 86 DAS (Figura 5E), a cada aumento de 50% na dose ocorreu incrementos estimado de 19,55% (13,19 g planta<sup>-1</sup>) e 4,63% (2,4 g planta<sup>-1</sup>) para as fonte KCl e VC, respectivamente, em que, a dose de 200% apresentou MSC estimada de 92,98 g planta<sup>-1</sup> e 56 g planta<sup>-1</sup>, representado um aumento na MSC em relação à estimada na dose de 0% de 131% e 21%, para as fontes KCl e VC, respectivamente. De acordo com as equações de regressões (Figura 5E), ao se aplicar uma dose de 28,57% a MSC aos 86 DAS são idênticas nas duas fontes de potássio.

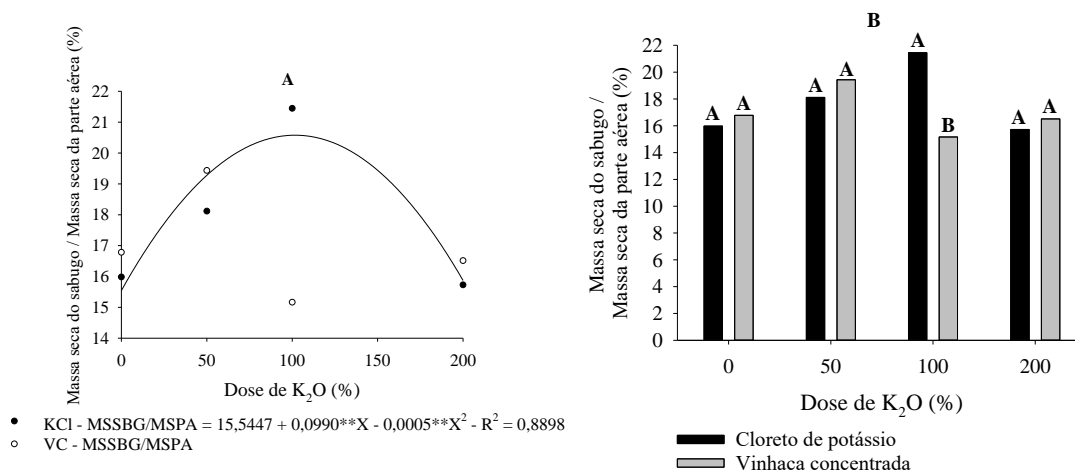
Houve diferença significativa entre as fontes apenas na dose de 200%, na qual a fonte KCl apresentou uma MSC 39% superior em comparação a fonte VC, com valores iguais a 93,09 e 56,37 g planta<sup>-1</sup> (Figura 5F).

Com relação a MSPA aos 30 DAS para a fonte KCl, não houve diferença estatística entre os dados, em que, a média da MSPA foi igual a 20,34 g planta<sup>-1</sup>, conforme a Figura 7A. Gomes et al. (2018) em estudo do desenvolvimento inicial do milho em função de diferentes doses de cloreto de potássio, observaram aos 30 dias após a emergência diferença no acúmulo de matéria seca por planta em função das doses, em que, a dose de 114 mg dm<sup>-3</sup> proporcionou a maior eficiência econômica, contrastando os resultados observados neste estudo.

Para a fonte VC aos 30 DAS e KCl aos 86 DAS (Figura 5G e 5I), o aumento de 50% na dose proporcionou incrementos estimado de 1,35 e 16,19 g planta<sup>-1</sup> na MSPA, em que os maiores valores foram determinados na dose de 200%, iguais a 23,62 e 131,92 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Aos 86 DAS para a fonte V, a dose de 184,5% foi a que apresentou a maior MSPA, estimado em 84,74 g planta<sup>-1</sup> (Figura 5I).

Em sistemas de plantio direto, com sucessão soja-milho, doses de 70 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio é suficiente para altas produções de matéria seca do milho (MENEGHETTE et al., 2019). Pereira et al. (1992) e Basso et al. (2013) observaram incremento na MSPA do milho conforme o aumento das doses de vinhaça.

Novamente, na fonte VC os dados não se adequaram aos modelos de regressão testados para a variável massa seca do sabugo/matéria seca da parte aérea (MSSBG/MSPA). Na fonte KCl, a dose que proporcionou a maior relação entre massas foi a de 99%, com valor estimado em 20,44% (Figura 6A). Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 100%, em que, a fonte KCl apresentou valor superior a fonte VC, na ordem de 1,41 vezes (Figura 6B).



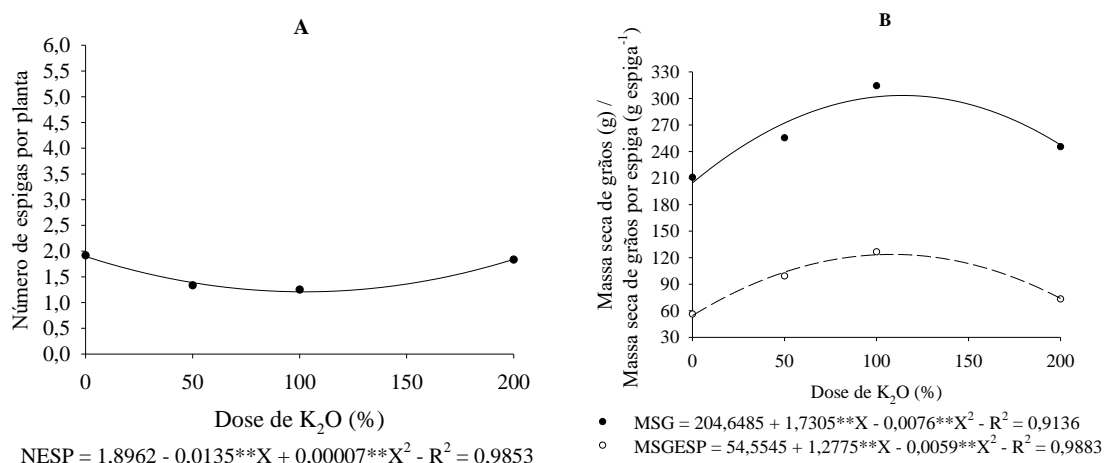
**Figura 6.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a relação matéria seca do sabugo/matéria seca da parte aérea (MSSBG/MSPA) da planta de milho aos 114 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

#### 4.3.2 Componentes de produção e produtividade

Houve efeito isolado das doses de potássio (D) no número de espigas por planta = prolificidade (NESP), massa seca de grãos (MSG), massa seca de grãos por espiga (MSGESP), produtividade de grãos (PROD) e quantidade de sacas produzidas por hectare (SCHA) e, efeito interativo doses x fontes de potássio apenas na massa seca do sabugo (MSSBG). As doses e fontes de potássio não influenciaram o número de fileiras de grãos (NFG) e número de grãos por fileira (NGF), corroborando com os resultados encontrados por Büll (1993) e Cavalli et al. (2018), assim, a maior nutrição do milho com potássio proporciona maior massa de grãos.

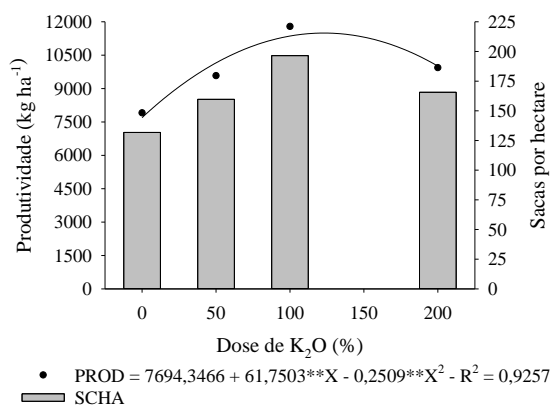
Com relação ao NESP coletadas por planta, seus valores reduziram até a dose estimada de 96,43%, em que se obteve o menor valor de 1,25 espigas e, voltou a subir até a dose de 200%, com pouco mais de 1,99 espigas estimadas. Devido a isto, a MSGESP teve o comportamento inverso, em que, na dose de 108% obteve-se o maior valor, estimado 123,70 g espiga<sup>-1</sup> (Figura 7A e 7B).

A MSG, tendo uma relação direta com o NESP, também obteve comportamento inverso, em que na dose de 113,85% observou-se a maior massa de grãos, estimado em 303,16 g.



**Figura 7.** Número de espigas (NESP) (A), massa seca de grãos (MSG) e massa seca de grãos por espiga (MSGESP) (B) de milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Como há correlação direta com a MSG e a PROD, o comportamento de ambos foi semelhante, conforme a Figura 8, na qual a dose de 123% estimou uma PROD de 11.494 kg ha<sup>-1</sup>, cuja, a maior produtividade em sacas por hectare, igual a 191,57 sacas (Figura 8).



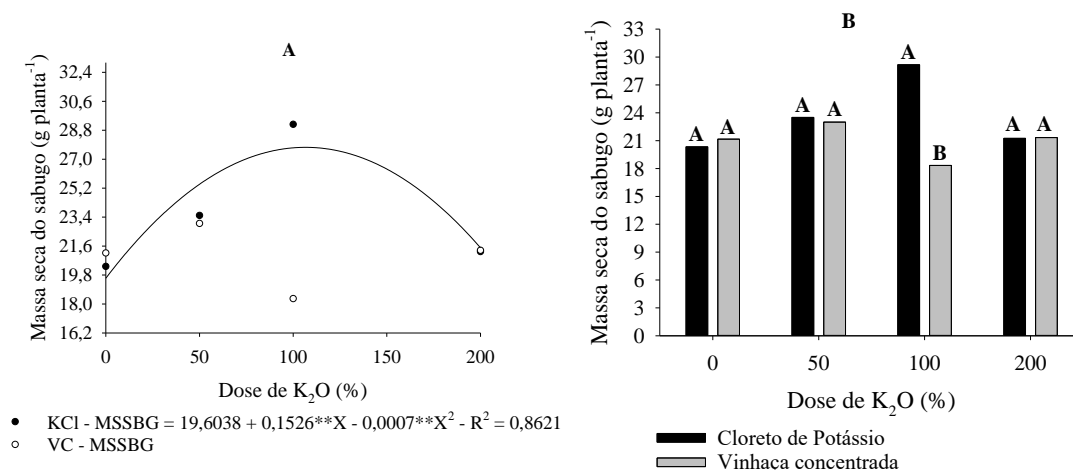
**Figura 8.** Produtividade de grãos de milho (PROD) e quantidade de sacas produzidas por hectare (SCHA) em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

No tratamento quando não se aplicou potássio, a PROD foi acima da média nacional, 7.694 kg ha<sup>-1</sup>, provavelmente pela fertilidade natural do solo, como pode ser observado na Tabela 1, contudo, essa PROD foi 33%, 48% e 30% inferior as PROD obtidas nas doses de 50, 100 e 200%. Cavalli et al. (2018) também observaram

comportamento quadrático da produtividade de grãos do milho em função das doses de potássio, em que, a dose de 256 kg ha<sup>-1</sup> foi a que proporcionou a maior produção de grãos, com incremento de 28% da produtividade em relação a dose 0% (7.168 kg ha<sup>-1</sup>).

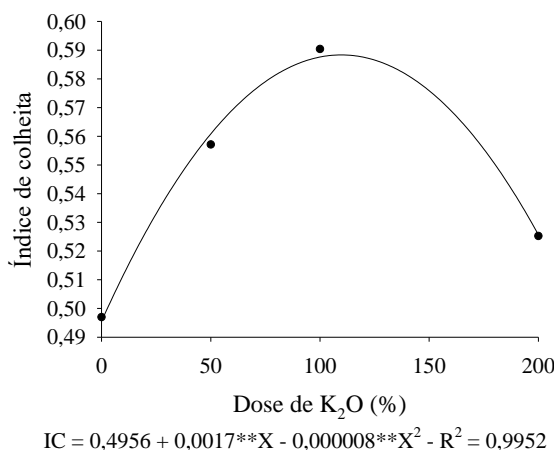
Mesmo com o teor de potássio natural no solo sendo considerado adequado, segundo Sousa e Lobato (2004), houve resposta para a adubação potássica com relação a produtividade de matéria seca e de grãos pelo milho, o que reforça a teoria de necessidade de revisão na calibração da recomendação de adubação potássica (YAMADA; ROBERTS, 2005).

Para a MSSBG, na fonte VC os dados não se adequaram aos modelos de regressão testados, sendo, que na KCl a maior MSSBG (27,92 g planta<sup>-1</sup>) foi observada na dose de 109% (Figura 9A). Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 100%, em que, a fonte KCl apresentou valor superior a fonte VC, na ordem de 37,14%, com valores iguais a 29,17 e 18,33 g planta<sup>-1</sup> (Figura 9B).



**Figura 9.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para a massa seca do sabugo (MSSBG) do milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Como esperado, o IC acompanhou o comportamento de todas as variáveis produtivas apresentadas até o momento (Figura 10). Em função das doses de potássio aplicadas, o maior IC, igual a 0,59, foi estimado na dose de 106%, sendo, 18%, 4,5%, 0,05% e 13,6% maior que nas doses de 0, 50, 100 e 200%.



**Figura 10.** Índice de colheita (IC) do milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Em estudo com adubação mineral potássica no milho, Vieira (2017) concluiu que o incremento das doses de potássio favorece o aumento da produtividade dos grãos, produção de palha e índice de colheita, contrastando os resultados observados neste estudo, em que, doses acima de 150% reduzem a produtividade de grãos (Figura 10) e por conseguinte o índice de colheita (Figura 10), contudo, continua a favorecer o incremento da matéria seca total como demonstrado na Figura 5, havendo reduções apenas para a matéria seca do sabugo Figura 9.

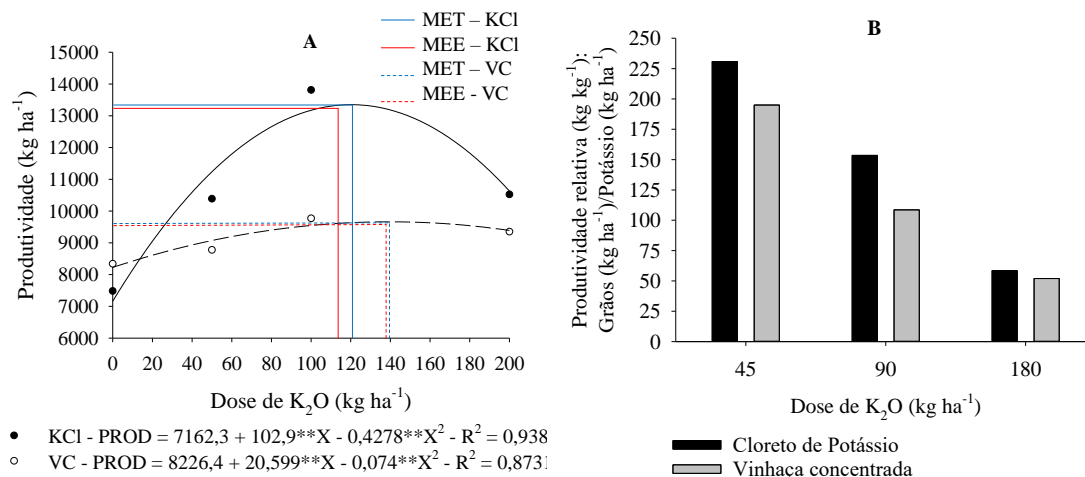
Kawavata et al. (2017) observaram que o aumento da dose de cloreto de potássio até 150 kg ha<sup>-1</sup> propicia aumento da condutividade elétrica do solo e redução na massa seca das raízes do milho. Isto acarreta a redução do acúmulo de matéria seca e potencial produtivo de grãos da cultura, devido os efeitos deletérios do aumento da condutividade elétrica e redução da massa de raízes, como pode ser observado neste estudo.

#### 4.3.3 Eficiência técnica e econômica dos adubos

A fonte cloreto de potássio (KCl) apresentou máxima eficiência técnica (MET) e máxima eficiência econômica (MEE) nas doses estimadas de 120,27% e 116,76%, equivalentes a 108,24 e 105,08 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, respectivamente. Quando utilizada a fonte vinhaça concentrada (VC), a MET e MEE foram estimadas nas doses de 139,18% e 139,17%, equivalentes a 125,26 e 125,25 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, respectivamente. Contudo, as produtividades de grãos (PROD) obtidas pela fonte KCl nestas doses foram superiores as obtidas com uso de VC, na ordem de 28% (Figura 11A). Segundo Sousa (2018), para



anos com boa e baixa média pluviométrica, doses entre 35 e 44 kg ha<sup>-1</sup> e, superiores a 70 kg de potássio devem ser aplicadas para se obter os melhores resultados econômicos.



**Figura 11.** Máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE) das fontes de potássio (vinhaça concentrada – VC e cloreto de potássio – KCl) em função das doses de potássio aplicadas (A) e, produção relativa das fontes de potássio em relação a quantidade de potássio aplicada (B).

Os valores encontrados entre a MET e MEE neste estudo tiveram pouca variação entre si, confirmando que a dose de MEE garante boa produtividade de grãos e menores gastos com a adubação (SILVEIRA et al., 2012), neste caso, para o nutriente potássio.

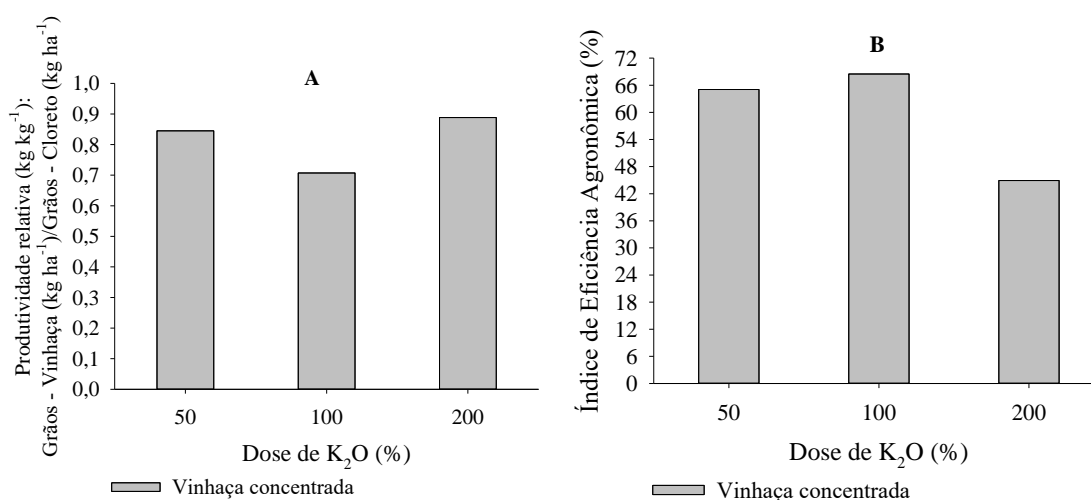
Contrastando com os resultados encontrados neste estudo para as fontes CL e V, a MET encontrada por Parente et al. (2016) em estudo de adubação potássica em cobertura no milho, foi na dose de 89 kg ha<sup>-1</sup> com produtividade de 6.0007 kg ha<sup>-1</sup>, contudo, o comportamento dos resultados foi semelhante se adequando a equação quadrática, em que, a doses acima da MET acarretaram na redução da PROD, o que, segundo o autor, pode ser atribuído ao desbalanço no complexo sortivo entre os cátions K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>.

Petter et al. (2016) também observaram esses mesmos comportamentos conforme o aumento das doses de potássio, com adubação mineral, em que, a produtividade em função da eficiência agrônômica no uso do potássio foi igual a 6.607,5 kg ha<sup>-1</sup>, numa dose média de 53 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Paralelamente a estes resultados, conforme a Figura 11B, a produção relativa de grãos obtida pelas fontes em comparação com a quantidade de potássio aplicada reduz

gradualmente, conforme se aumenta a dose aplicada. Em que, produziu-se na fonte KCl 230,83, 153,47 e 58,47 kg de grãos e, na fonte VC 195, 108,54 e 51,94 kg de grãos para cada kg de potássio aplicado, nas doses de 50, 100 e 200%, respectivamente. Estes valores representam reduções na produção relativa entre as doses 50-100% e 100-200% na ordem de 33,51 e 61,9% para a fonte KCl e, 44,34 e 52,14% para a VC.

A vinhaça concentrada como fonte alternativa de adubação orgânica potássica, apresentou a produção de grãos relativa em função da produção obtida pela fonte KCl igual a 0,84, 0,71 e 0,89 kg de grãos para cada kg produzido pela fonte KCl, nas doses de 50, 100 e 200%, respectivamente (Figura 12A).



**Figura 12.** Produção relativa da vinhaça concentrada em relação a produtividade de grãos obtida pelo cloreto de Potássio (A) e, índice de eficiência agrônômica da vinhaça concentrada (B).

Ainda neste contexto, o índice de eficiência agrônômica (IEA) da vinhaça concentrada, que representa a eficiência agrônômica do adubo em comparação com a dose 0% e o adubo padrão, que no caso foi o cloreto de potássio, foi maior na dose de 100% igual a 68,5%, seguido pela dose 50 e 200%, com valores iguais a 65,07 e 44,92% (Figura 12B).

Corroborando com os resultados da Figura 11B e 12B, Deparis et al. (2007) e Petter et al. (2016) observaram que a eficiência agrônômica no uso do potássio reduziu exponencialmente com o acréscimo nas doses aplicadas, ou seja, a dose aplicada que proporcionou a maior produtividade de grãos não foi a mesma que proporcionou a maior eficiência no uso do potássio. Contudo, a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de potássio foi a de maior

eficiência para estes autores, sendo, menor em relação as observadas neste estudo, com relação a produção relativa para as fontes KCl e VC e, o IEA para a vinhaça.

Segundo Gianchini e Ferras (2009), Andrade (2012) e conforme os resultados apresentados neste estudo, do ponto de vista da produção de matéria seca e produção de grãos, a vinhaça tem potencial e pode substituir a adubação mineral, devido sua carga de nutrientes e matéria orgânica, além, da melhor viabilidade financeira (SILVA, 2009) contudo, cuidados devem ser tomados conforme sua aplicação em subsequentes safras, com o intuito de não desbalancear os nutrientes no solo e/ou causar algum tipo de contaminação no solo ou cursos d'água.

#### **4.4 CONCLUSÕES**

Não ocorre influência das doses e das fontes de potássio no acúmulo de matéria seca das folhas, colmo e parte aérea na colheita do milho.

A maior partição de matéria seca do sabugo em relação a matéria seca total da planta de milho é obtida na dose de 99%, sendo que, a fonte cloreto de potássio proporciona maior partição na dose de 100% em comparação com a vinhaça concentrada.

A dose de 100% independentemente da fonte utilizada, proporciona maior massa seca de sabugo, massa seca de grãos, massa seca de grãos por espiga, produtividade de grãos, quantidade de sacas produzidas por hectare e índice de colheita do milho.

A máxima eficiência técnica e econômica para o cloreto de potássio é obtida nas doses de 120 e 116% e, para a vinhaça concentrada, na dose de 139%.

O cloreto de potássio proporciona maior quantidade de grãos de milho produzidos por quilograma de potássio aplicado em comparação com a vinhaça concentrada.

A dose que apresenta o maior índice de eficiência agrônômica para a vinhaça é a de 100% da recomendação de potássio por hectare para a cultura do milho.

#### **4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDRADE, F. P. Uso da vinhaça na fertirrigação: revisão da literatura sobre a técnica e seus benefícios Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Escola de Engenharia de Lorena. Universidade Federal de São Paulo, Lorena, 57 p., 2012.

BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; SOMAVILLA, L.; BRIGO, T. J. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.43, n.4, abr, 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de um Grupo Selecionado de Tecnologias Inovadoras Relacionadas à Cadeia Sucroenergética**. Ceres Inteligência Financeira, p. 143, abril, 2013.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. cap. 5, p. 63-145.

CANAL - JORNAL DA BIOENERGIA. **Produção de etanol de milho avança no Brasil**. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/etanol-de-milho-mato-grosso-sedestaca-na-producao/>>. Acesso em: 19/05/2018.

CAVALLI, E.; LANGE, A. Efeito residual do potássio no sistema de cultivo soja-milho safrinha no Cerrado mato-grossense. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.27, n.2, p.310-326, 2018.

COELHO, A. M. et al. **Sistemas de produção 1: cultivo do milho**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa/CNPMS, 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Norma técnica P4.231/2005. Decisão de Diretoria – D.D. n°. 035/2005/E, de 09/03/2005. Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231\\_Vinha%C3%A7a-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231_Vinha%C3%A7a-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf)>. Acesso em: 08/08/2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.6, Safra 2018/19 - Nono levantamento. **CONAB**: Brasília.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Preços agrícolas, da sociobio e da pesca. Disponível em < <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/> >, acessado em 09/06/2019.

DEPARIS, G. A., LANA, M. do C., FRANDOLOSO, J. F. 2007. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, 29:517-525.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; SHIBATA, F. Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, 21:497-504, 1997.

GIANCHINI, C.F. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-deaçúcar – Revisão da literatura. **Revista Científica eletrônica de agronomia**. Garça, SP. 2009. 15 ed. Disponível em:< [www.revista.inf.br/agro15/revisao/TEVLIT01.pdf](http://www.revista.inf.br/agro15/revisao/TEVLIT01.pdf)>. Acesso em: 25 jun.2019.

GOMES, M. P.; CORDIDO, J. P. B. R.; SANTOS, M. L.; PEREIRA, A. M. Desenvolvimento inicial do milho em resposta a doses de potássio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p. 27-36, 2018.

HOCHMAN L.; CARBERRY. P. S.; ROBERTSON. M. J.; et al. Prospects for ecological intensification of Australian agriculture. **Europ. J. Agronomy**, n.44, p.109–123, 2013.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **BDMEP: Dados históricos**. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em:05 de março de 2019.

KAWAVATA, C. K. H.; FOIS, D. A. F.; COPPO, J. C.; ALVES NETO, A. Influência de doses e de duas fontes de potássio no sistema radicular do milho e na condutividade elétrica no solo. **Investig. Agrar.** 2017; 19(1): 28-34.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A apropriação do cerrado pelo agronegócio e os novos usos do território. Campo-território: **Revista de geografia agrária**, v. 9, n. 17, p. 6-26, abr., 2014.

MENEGHETTE, H. H. A.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J. W.; SANTOS, F. L.; SANCHES, I. R.; BIAZI, N. Q. Adubação potássica em plantas de coberturas no sistema de plantio direto e efeitos na cultura da soja em sucessão. **Colloquium Agrariae**, v.15, n.3, Mai-Jun, 2019, p. 1-12.

MORAIS, M.; AMARAL, H. F.; NUNES, M. P. Desenvolvimento e assimilação de nutrientes da cultura de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Rev. Terra & Cult.**, v.34, n. especial Ciências Agrárias, 2018.

PARENTE, T. L.; LAZARINI, D.; CAIONI, S.; SOUZA, G. L. M.; PIVETTA, R. S.; BOSSOLANI, J. W. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.10, n.3, p.193-200, julho-setembro, 2016. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v10i3.3258

PEREIRA, J.P. et al. Efeito da adição de diferentes dosagens de vinhaça a um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na germinação e vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.2, p.147-150, 1992.

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. **Com. Sci.**, Bom Jesus, v.7, n.3, p.372-382, Ago./Out. 2016. DOI: 10.14295/CS.v7i3.1218

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 222-227, abr-jun, 2012.

SILVA, G. S. P. L.; SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; TOMAZ, E.; BERTON, R. S.; MARCHIORI, L. F. S.; SILVEIRA, F. G. Efeitos da aplicação de vinhaça "in natura" ou concentrada associado ao N-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar e no ambiente. **Holos Environment**, v.19, n.1, 2018.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p. 108-114, 2007.

SILVA, V.L. 2009. Estudo econômico das diferentes formas de transporte em fertirrigação na cana-de-açúcar. Tese de mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp. Jaboticabal, SP, 2009.

SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de; PIAZZETTA, H. V. L.; LANG, C. R.; CARVALHO, P. C. de F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.4, p.1323-1332, jul./ago. 2012.

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

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, R. R. Viabilidade econômica e agrônômica de adubação nitrogenada e potássica em milho. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 46 p., 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

VIEIRA, C. P. Resposta agrônômica do milho à adubação nitrogenada e potássica em sistema de plantio direto. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 33 p., 2017.

YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. 841p.

## 5 CAPÍTULO III

### BALANÇO NUTRICIONAL DE MACRONUTRIENTES NA PLANTA DE MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO

#### RESUMO

O potássio é o segundo nutriente maior extraído pelo milho, essencial em diversas reações enzimáticas no tecido vegetal. Sua forma de aplicação, com base no fertilizante utilizado é de fundamental importância para o correto balanço nutricional dos macronutrientes no milho. Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar no balanço nutricional, acúmulo, extração e exportação de macronutrientes pela cultura do milho. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho. Foram avaliados o estado nutricional do milho no florescimento, o acúmulo, a extração e exportação dos macronutrientes. Independentemente da fonte de potássio utilizada ocorre deficiência de potássio na planta de milho até a dose de 24% (21,6 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e, redução nos teores de magnésio e cálcio no tecido vegetal do milho conforme o aumento da disponibilidade de potássio, na época de florescimento. A dose de 100% (95 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) da recomendação de potássio aplicado via cloreto de potássio ou vinhaça concentrada é a que proporciona o melhor balanço nutricional de macronutrientes no milho. A escala de absorção e acúmulo de macronutrientes pelo milho seguiu a seguinte ordem decrescente: N>K>Ca>P>Mg>S. A maior parte do nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre acumulados são exportados pelos grãos, independente da dose e fonte de potássio utilizada. A vinhaça concentrada promove maior acúmulo de potássio na palhada e o cloreto nos grãos de milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., adubação potássica, acúmulo de nutrientes, extração, exportação.

#### ABSTRACT

Potassium is the second largest nutrient extracted by corn, essential in several enzymatic reactions in plant tissue. Its application form, based on the fertilizer used is of fundamental importance for the correct macronutrients nutritional balance in corn. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the comparative effect between potassium chloride and potassium mineral organic fertilization with concentrated sugarcane vinasse on macronutrient nutritional balance, accumulation, extraction and exportation by corn crop. The experiment was carried out in open - air plastic pots at the experimental station of the Goiano Federal Institute - Campus Rio Verde - GO. The soil used was classified as dystroferric Red Latosol, Cerrado phase, of clay texture. The experimental design was randomized blocks, analyzed in a 2 x 4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of two potassium sources (concentrated vinasse and potassium chloride) and four potassium doses referring to 0, 50, 100 and 200% of the recommendation for corn crop. The nutritional status of corn at flowering, accumulation, extraction and exportation of macronutrients were evaluated. Regardless of the potassium source used, potassium deficiency occurs in the corn plant up to 24% (21.6 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) and reduction in the magnesium and calcium levels in the corn plant tissue as the potassium availability increases in the flowering season. The 100% (95 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) dose of the potassium recommendation applied via potassium chloride or concentrated vinasse provides the best macronutrient nutritional balance in corn. The macronutrient absorption and accumulation scale by corn followed the following decreasing order: N > K > Ca > P > Mg > S. Most of the accumulated nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and sulfur are exported by the grains, regardless of the potassium dose and source used. Concentrated vinasse promotes greater potassium accumulation in straw and chloride in corn grains.

**Keywords:** *Zea mays* L., potassium fertilization, nutrient accumulation, extraction, export.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Os solos da região Centro-Oeste do Brasil geralmente são altamente intemperizados, com predominância de Latossolos com baixa fertilidade natural, e demanda a utilização de altas quantidades de fertilizantes, principalmente a adubação potássica, fazendo com que os mesmos sejam importantes componentes no custo de produção (SILVA et al., 2016).

Dentre as principais culturas de cereais dos trópicos subúmidos e semiáridos, o milho tem a mais alta produtividade em condições adequadas de água, luz e nutrientes minerais, com destaque para o potássio (K), que é o segundo nutriente mineral absorvido em maior quantidade, superado apenas pela nitrogênio (N) (RAIJ et al., 1996; VILELA et al., 2004; PARENTE et al., 2016), sendo, essencial na ativação de diversas enzimas no metabolismo das plantas, abertura e fechamento estomático, respiração, transpiração,



fotossíntese, formação de carboidratos, controle de turgidez do tecido, dentre outras funções (TAIZ et al., 2017).

Sua forma predominante no solo é a catiônica ( $K^+$ ) e seus sais possuem alta solubilidade, favorecendo a ocorrência de efeitos deletérios ao crescimento e desenvolvimento das plantas pelo seu potencial salino e também grandes perdas por lixiviação, dependendo do manejo e doses adotadas (BERNARDI et al., 2009; LEAL et al., 2015).

Outro fator que afeta a capacidade salina e movimentação do potássio no solo é o fertilizante utilizado. O cloreto de potássio (CL) é a principal fonte mineral utilizada no país, sendo, essa a fonte mais economicamente viável (SILVA et al., 2016), e é um sal altamente solúvel, o que agrava os efeitos citados dependendo do manejo adotado (VILELA et al., 2004; RESENDE et al., 2006). Outras fontes de potássio têm sido utilizadas em diversas culturas, sejam elas orgânicas ou minerais, e podem amenizar estes problemas.

Na cultura da cana-de-açúcar, a vinhaça é a principal fonte de potássio, cuja aplicação se dá principalmente na forma de fertirrigação. O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  (RIBEIRO et al., 2014).

Segundo Costa et al. (2012) a cultura do milho é considerada de grande poder de extração de nutrientes do solo, em que, considerando o acúmulo total. Sendo assim, a avaliação do estado nutricional informará a quantidade de nutrientes exigidos pela planta durante seu ciclo, tendo-se como base o teor, acúmulo e particionamento dos nutrientes no material vegetal.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça de cana-de-açúcar no balanço nutricional, acúmulo, extração e exportação de macronutrientes pela cultura do milho.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1 Características e Localização da Área Experimental**

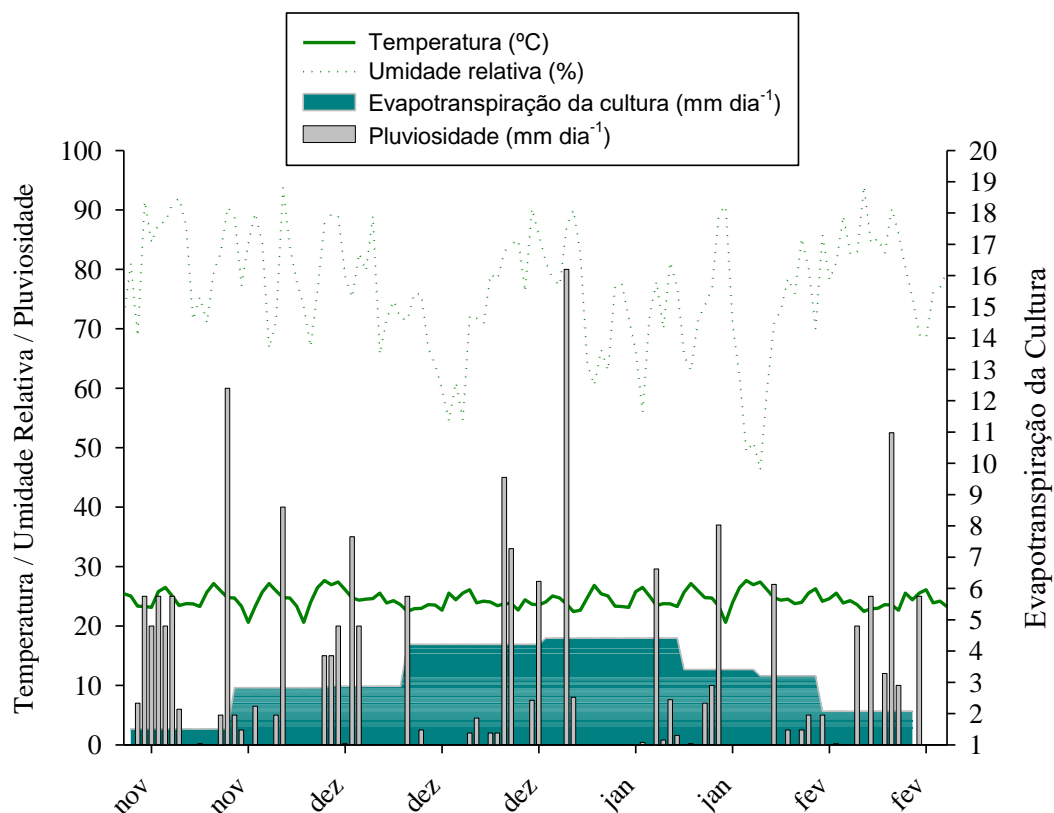
O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, no período de novembro de 2018 a fevereiro de 2019 (Milho safra), na estação experimental

do Instituto Federal Goiano – *Campus Rio Verde* – GO. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade) (Figura 1).



**Figura 1.** Localização do experimento na área do IFGoiano – Campus Rio Verde.

A precipitação pluvial ocorrida durante os meses de cultivo do milho na safra 2018/19: novembro (267,30 mm); dezembro (241,20 mm); janeiro (182,30 mm); fevereiro (186,70 mm), conforme Figura 2.



**Figura 2.** Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).

Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

### 5.2.2 Caracterização do Solo

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). O solo foi coletado numa camada de 0,0-0,30 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IFGoiano – Campus Rio Verde, cujas características físico-químicas desse solo se encontram na Tabela 1, conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade.

Prof. (m)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl <sub>2</sub>
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>			pH	
0,0-0,3	4,3	1,2	5,5	0,00	2,5	0,17	67	9,9	55,3	5,6
Prof. (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC <sup>a</sup>	SB <sup>b</sup>	V% <sup>c</sup>	m% <sup>d</sup>
	Micronutrientes (mg dm <sup>-3</sup> )					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Sat. Bases		Sat. Al


0,0- 0,3	0,0	19,9	9,3	2,95	1,65	0,06	8,2	5,7	69,1	0,00
Prof.	Textura (g kg <sup>-1</sup> )			M.O. <sup>e</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
(m)	Argila	Silte	Areia	g dm <sup>-3</sup>	----- Relação entre bases -----					
0,0- 0,3	502	49	449	27,6	3,6	25,3	7,1	0,5	0,2	0,02

P (Fósforo) = Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio) = KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; S (Enxofre) = Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>; M.O. = Método colorimétrico; B (Boro) = água quente.

<sup>a</sup>Capacidade de troca catiônica; <sup>b</sup>soma de bases; <sup>c</sup>saturação de bases; <sup>d</sup>saturação de alumínio; <sup>e</sup>Matéria orgânica.

### 5.2.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho, totalizando 24 parcelas experimentais, sendo que, cada parcela foi constituída por cinco vasos com duas plantas, totalizando 120 unidades experimentais (Figura 3).

T3	T2	T7	T1	T8	T5	
T3	T2	T7	T1	T8	T5	
T3	T2	T7	T1	T8	T5	
T3	T2	T7	T1	T8	T5	
T3	T2	T7	T1	T8	T5	
T7	T8	T3	T5	T4	T1	
T7	T8	T3	T5	T4	T1	
T7	T8	T3	T5	T4	T1	
T7	T8	T3	T5	T4	T1	
T7	T8	T3	T5	T4	T1	
T5	T4	T6	T2	T3	T7	
T5	T4	T6	T2	T3	T7	
T5	T4	T6	T2	T3	T7	
T5	T4	T6	T2	T3	T7	
T5	T4	T6	T2	T3	T7	
T1	T6	T4	T8	T6	T2	
T1	T6	T4	T8	T6	T2	
T1	T6	T4	T8	T6	T2	
T1	T6	T4	T8	T6	T2	
T1	T6	T4	T8	T6	T2	

Bloco 3

Bloco 2

Bloco 1

#### LEGENDA

T1

Cloreto de potássio / 0%

T2

Cloreto de potássio / 50%

T3	Cloreto de potássio / 100%
T4	Cloreto de potássio / 200%
T5	Vinhaça / 0%
T6	Vinhaça / 50%
T7	Vinhaça / 100%
T8	Vinhaça / 200%

**Figura 3:** Croqui do delineamento experimental.

#### 5.2.4 Correção e adubação do solo

Foi efetuada a correção do pH do solo aplicando-se, 30 dias antes da semeadura, calcário filler calcítico na dose equivalente de  $2 \text{ t ha}^{-1}$ , correspondendo à aplicação de  $65 \text{ g vaso}^{-1}$ , com o intuito de elevar a saturação por bases para 70%.

Todas as parcelas dos tratamentos foram adubadas com fósforo e nitrogênio no sulco de semeadura e, em cobertura a lancha apenas com nitrogênio, nos estádios fenológicos do milho V4 e V6 (4 e 6 folhas totalmente desenvolvidas), segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004):  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-ureia na semeadura e  $1.300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -super fosfato simples e,  $155 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-ureia dividido em duas aplicações na cobertura.

#### 5.2.5 Implantação do experimento

Para a condução deste estudo foram utilizados vasos plásticos de polietileno com capacidade de 25 L. Foi confeccionado no fundo dos vasos um dreno com espessura de 4 cm de brita nº1. Posteriormente, efetuou-se o preenchimento com  $32 \text{ kg}$  de solo ( $\text{ds} = 1,35 \text{ g cm}^{-3}$ ).

Os vasos tiveram suas umidades elevadas até a capacidade de campo, momento em que foram semeadas 10 sementes de milho Híbrido SYN522 VIP3 por vaso. Aos 15 dias após a semeadura (DAS) foi efetuado o desbaste das plantas, deixando apenas duas plantas por vaso, mantidas até o final do ciclo da cultura (Figura 4).





**Figura 4.** Período antes e após o desbaste das plantas.

### 5.2.6 Aplicação dos tratamentos

A aplicação do potássio ocorreu apenas na cobertura do milho via fertirrigação, nos estádios fenológicos V4 e V6 (Figura 5), conforme a recomendação de Sousa e Lobato (2004) ( $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de potássio) e, seguindo os tratamentos descritos no item 5.2.3. A fonte cloreto de potássio (KCl) utilizada foi o granulado de coloração avermelhada, com concentração de 60% de  $\text{K}_2\text{O}$ .





**Figura 5.** Aplicação do cloreto de potássio e da vinhaça.

A vinhaça concentrada utilizada no experimento foi coletada na usina Raízen – Unidade Jataí, num volume total de 100 L e armazenada para a realização do experimento. Foi realizada uma análise química completa da vinhaça concentrada (VC) no início do experimento, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) (Embrapa) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização físico-química da vinhaça utilizada no estudo.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	S	C.O.
----- Macronutrientes (g dm <sup>-3</sup> ) -----							g dm <sup>-3</sup>
3,12	1,56	15,72	2,04	1,32	-	3	51,84
Fe	Mn	Cu	Zn	pH	Densidade	M.S.	
----- Micronutrientes (g kg <sup>-1</sup> ) -----					-	g L <sup>-1</sup>	%
0,24	<0,1	<0,1	<0,1	4,0	1,2	-	

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Fósforo) = Mehlich 1, K<sub>2</sub>O (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Melich 1; Ca (Cálcio) e Mg (magnésio) = KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; S (Enxofre) = Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>; C.O. (Carbono orgânico) = Método colorimétrico.

## 5.2.6 Variáveis analisadas

### 5.2.6.1 Estado nutricional da planta

Foram coletadas por ocasião do florescimento do milho, o terço central de seis folhas da base da espiga principal (superior), segundo metodologia descrita em Raij et al. (1996). O material colhido foi levado ao laboratório, lavado em água destilada, seco a 65°C em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas, passado em moinho tipo Wiley

e realizadas as determinações dos teores ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

### 5.2.6.2 Teor e acúmulo de macronutrientes na colheita

Para a determinação destas variáveis, no momento da colheita (114 DAS) as plantas foram divididas em palhada (colmo, folhas e sabugo) e grãos, posteriormente acondicionadas em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a  $65^{\circ}\text{C}$  por 72 horas, e em seguida, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley, numa peneira de 10 mesh. Acondicionadas em recipientes heméticos de acrílicos e levadas ao laboratório de análises químicas, para determinação dos teores ( $\text{g kg}^{-1}$ ) dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997). O acúmulo do nutriente ( $\text{g planta}^{-1}$ ) nos grãos e na palhada foi calculado com base nas Equações 1, 2 e 3:

$$AC_{PL} = T_{PL} \times MSPA \quad (1)$$

$$AC_G = T_G \times MSG \quad (2)$$

$$AC_T = AC_{PL} + AC_G \quad (3)$$

Em que:  $AC_{PL}$ : acúmulo do nutriente na palhada ( $\text{g planta}^{-1}$ );  $T_{PA}$ : teor do nutriente na palhada ( $\text{g kg}^{-1}$ );  $MSPA$ : matéria seca da parte aérea ( $\text{kg planta}^{-1}$ );  $AC_G$ : acúmulo do nutriente nos grãos ( $\text{g planta}^{-1}$ );  $T_G$ : teor do nutriente nos grãos ( $\text{g kg}^{-1}$ );  $MSG$ : massa seca de grãos ( $\text{kg planta}^{-1}$ );  $AC_T$ : acúmulo total do nutriente na planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

### 5.2.6.3 Extração, exportação e partição dos macronutrientes

Também foram calculados os parâmetros técnicos: Particionamento do nutriente (%) entre palhada e grãos (Equação 4), Extração ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do nutriente pela planta de milho (Equação 5) e a exportação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do nutriente pelos grãos (Equação 6):



$$P_N = \frac{AC_{PL-G} \times 100}{AC_T} \quad (4)$$

$$EXT = \frac{AC_T \times 75.000}{1.000} \quad (5)$$

$$EXP = \frac{AC_G \times 75.000}{1.000} \quad (6)$$

Em que:  $P_N$ : particionamento do nutriente na palhada e grãos (%);  $AC_{PA-G}$ : acúmulo do nutriente na palhada ou nos grãos ( $g\ planta^{-1}$ ); 100: Fator de conversão para porcentagem; EXT: extração do nutriente pelo milho ( $kg\ ha^{-1}$ ); 1.000: fator de conversão de g para kg; EXP: exportação do nutriente pelos grãos ( $kg\ ha^{-1}$ ).

### 5.2.7 Análises Estatísticas

Os dados das variáveis teor e acúmulo de nutrientes obtidos no momento da colheita foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis doses (D). Para o fator fontes (F), as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011).

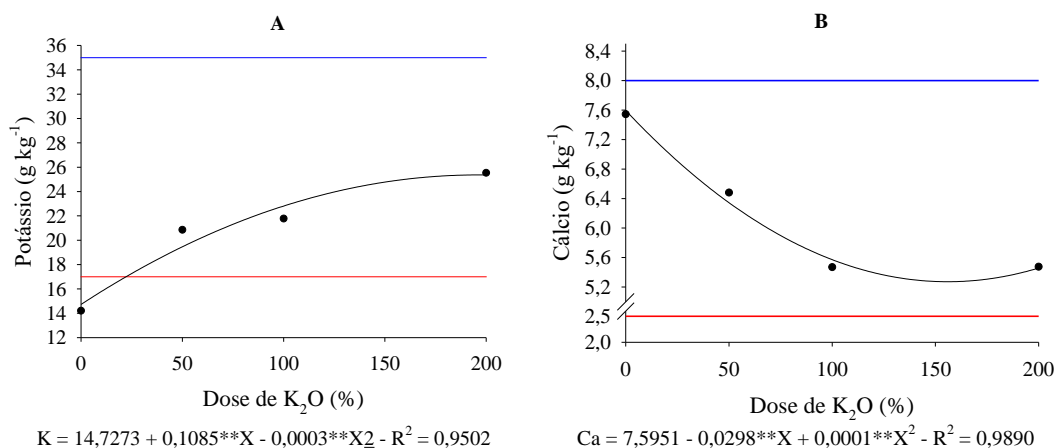
## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Estado nutricional: Macronutrientes

Para os teores dos macronutrientes determinados no momento do florescimento do milho, não houve efeito significativo das doses e fontes de potássio para o nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). Os valores médios para os teores foram iguais a 21,06, 1,48 e 1,22  $g\ kg^{-1}$ , respectivamente. Valores este que ficaram abaixo da faixa considerada adequada, proposta por Raij et al. (1996): 27-35  $g\ kg^{-1}$  para o N; 2,0-4,0  $g\ kg^{-1}$  para o P e 1,5-3,0  $g\ kg^{-1}$  para o S.

De maneira geral, não foi observado sintomas de toxidez e nem de deficiência nutricional na avaliação visual, para os nutrientes anteriormente citados, indicando que as doses aplicadas e as fontes de potássio utilizadas, pouco influenciaram nos teores desses nutrientes na folha.

Os teores no tecido vegetal de potássio (K) e cálcio (Ca) foram influenciados significativamente pelas doses (Figura 6). Para o K, a dose estimada de 180,83% proporciona o maior teor no tecido vegetal, igual a 24,54 g kg<sup>-1</sup>, sendo, 39,98, 20,92, 7,98 e 0,45% superior aos estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200%, respectivamente. A dose estimada de 149% foi a que proporcionou o menor teor de Ca, igual a 5,38 g kg<sup>-1</sup>, sendo, 29,23, 15,42, 4,28 e 4,62% inferior aos teores estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200% (Figura 6B), respectivamente.



\*Faixas de teores consideradas adequadas, conforme Raij et al. (1996) - Linha azul: 35 g kg<sup>-1</sup> para o K e 8 g kg<sup>-1</sup> para o Ca; Linha vermelha: 17 g kg<sup>-1</sup> para o K e 2,5 g kg<sup>-1</sup> para o Ca.

**Figura 6.** Teor de potássio (K) (A) e cálcio (Ca) (B) na parte aérea do milho no florescimento em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

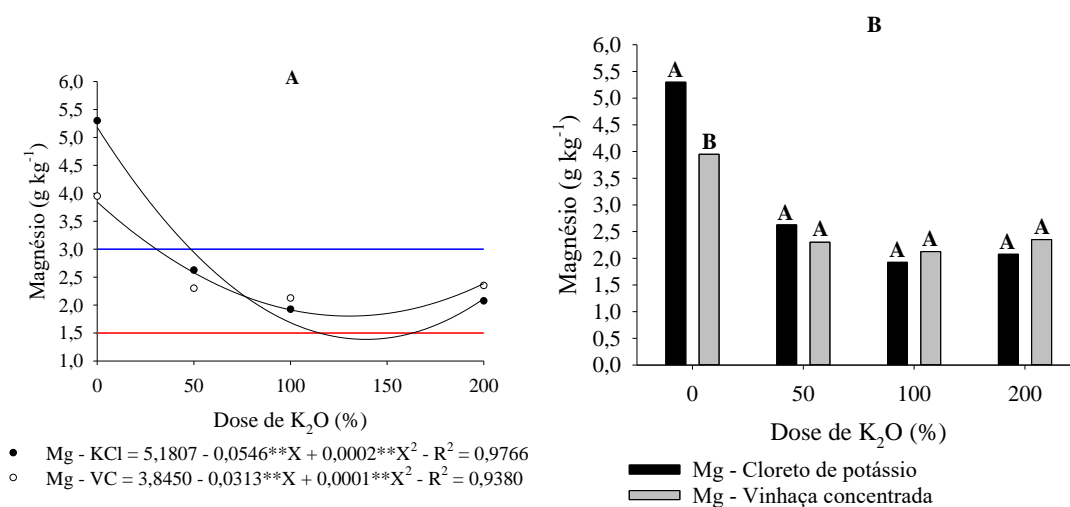
Para o K, que os teores estimados não ultrapassam o limite superior da faixa considerada adequada, contudo, entre o tratamento sem aplicação (0%) e a dose de 24%, os teores de K foram inferiores ao adequado (Figura 6A). Já os teores de Ca (Figura 6B), independente da dose utilizada, em nenhum momento se encontram fora da faixa adequada (RAIJ et la., 1996).

O aumento do teor de K em função do aumento da dose era esperado, principalmente pela textura argilosa e a capacidade de troca catiônica (CTC) adequada do solo em que foi cultivado o milho (Tabela 1), ficando o nutriente disponível para absorção pelas raízes da planta de milho. A estagnação do teor a partir da dose de 180% também é explicada pelas características do nutriente no solo, em que, a certo ponto, sua elevada concentração pode exceder a CTC do solo, estando os íons facilmente lixiviados pela frente de molhamento. A lei dos elementos decrescentes também pode explicar esse

comportamento, em que, a absorção do nutriente pela planta é reduzida conforme o aumento da dose, pela própria limitação fisiológica da planta.

Segundo Melo et al. (2006), devido ao seu caráter catiônico, o potássio é tanto mais facilmente adsorvido à matriz do solo quanto maior for a capacidade de troca de cátions desse solo. Ribeiro et al. (2014) trabalharam com dois tipos de solo (Latosolo Vermelho arenoso e Nitossolo argiloso) e observaram carreamento do potássio até a profundidade de 0,7 m no solo arenoso, comprovando que solos arenosos possuem baixa adsorção e capacidade de troca catiônica. Segundo os autores, esta situação é explicada pelo fato de o potássio ser um cátion, que se caracteriza por ficar adsorvido em solos com alta capacidade de troca catiônica.

Os teores de magnésio (Mg) no tecido vegetal sofreram influência significativa da interação doses x fontes de potássio (Figura 7). Para o teor de Mg. quando utilizada a fonte cloreto de potássio (KCl) (Figura 7A), a dose estimada de 136,5% promoveu o menor teor no tecido vegetal, igual a  $1,45 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo, 71,93, 50,72, 15,48 e 35,67% inferior aos estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200%, respectivamente. A dose estimada de 156,6% foi a que proporcionou o menor teor de Mg na fonte vinhaça concentrada (VC), igual a  $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo, 63,69, 44,83, 18,61 e 11,93% inferior aos teores estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200% (Figura 7B), respectivamente. Vale salientar, que estes valores para as fontes VC e KCl são inferiores aos adequados para cultura, conforme Malavolta et al. (1997) (Figura 7A).



\*Faixa de teor considerada adequada para o magnésio, conforme Raij et al. (1996) - Linha azul:  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ ; Linha vermelha:  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ .

**Figura 7.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o teor de magnésio (Mg) na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 0% (Figura 7B), sendo, a fonte KCl apresentou teor de Mg 25,47% maior que a fonte VC, com valores iguais a 5,3 e 3,95 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

A redução nos teores foliares de Ca (Figura 6B) e Mg (Figura 7A) pode ser explicada pela competição dos cátions K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> pelo sítio de troca catiônica no solo, em que, a elevada concentração de K no solo nas dosagens mais altas acarretou no deslocamento dos cátions bivalentes Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (MATOS et al., 2013), favorecendo sua indisponibilidade para as plantas e até mesmo sua lixiviação para camadas mais profundas.

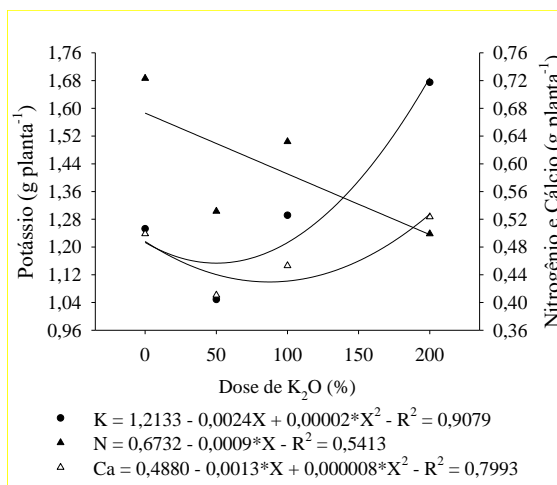
Segundo Malavolta et al. (1997) dependendo das proporções presentes no solo, a interação entre esses cátions (K, Ca e Mg) pode resultar em inibição competitiva daquele mais abundante sobre a absorção dos outros pelas plantas.

Nakao et al. (2016) também constaram teores de Mg no feijão, quando aplicado composto orgânico e mineral, superiores nos tratamentos sem aplicação, havendo redução nos seus teores a partir deste tratamento, corroborando com os resultados encontrados neste estudo. Portanto, é importante salientar que altos teores de Mg, como os encontrados no presente estudo até as dosagens de 50 e 25% para as fontes KCl e VC, podem afetar o pleno desenvolvimento da cultura pelo desbalanço nutricional (RAIJ et al., 1997).

### **5.3.2 Acúmulo, extração e exportação de macronutrientes**

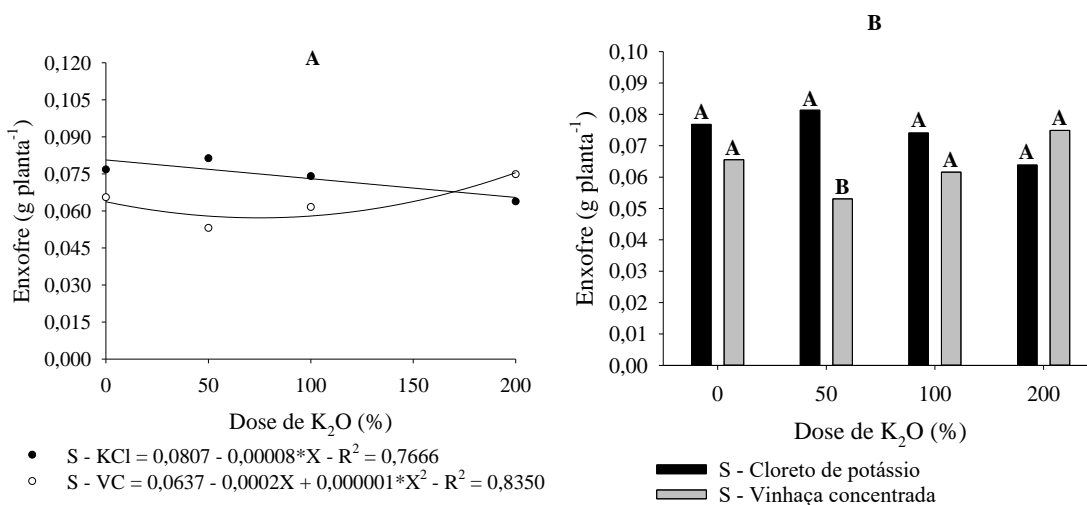
Não ocorreu efeito interativo doses (D) x fontes (F) de potássio no acúmulo de nitrogênio (N) e cálcio (Ca) na palhada, grãos e total e, na partição entre palhada (PL) e grãos (G) do milho.

Na PL do milho, ocorreu efeito significativo das doses de potássio para os nutrientes potássio (K), N e Ca (Figura 8). A cada acréscimo de 50% na D estima-se a redução de 6,68% no acúmulo de N. Para o K e Ca, as doses de 60 e 81% obtiveram os menores acúmulos para estes nutrientes, iguais a 1,14 e 0,44 g planta<sup>-1</sup>, sendo, 5,93, 0,17, 2,72 e 25,57% e, 10,82, 1,76, 0,64 e 20,58% menores que os estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200%, respectivamente.



**Figura 8.** Acúmulo de potássio (K), nitrogênio (N) e cálcio (Ca) na palhada do milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Na Figura 9A observa-se o acúmulo de enxofre (S) em função das doses para cada fonte utilizada. Para a fonte cloreto de potássio (KCl) estimou reduções de  $0,004 \text{ g planta}^{-1}$  no acúmulo de S para cada aumento de 50% na dose, em que o menor valor foi constatado na dose de 200%, igual a  $0,0647 \text{ g planta}^{-1}$ . Para a fonte vinhaça concentrada (VC) a dose 100% apresentou o menor acúmulo de S, estimado em  $0,0537 \text{ g planta}^{-1}$ . Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 50% (Figura 9B), sendo a fonte KCl apresentando 35% maior acúmulo de S que a fonte VC, com valores iguais a 0,08 e 0,05  $\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente.

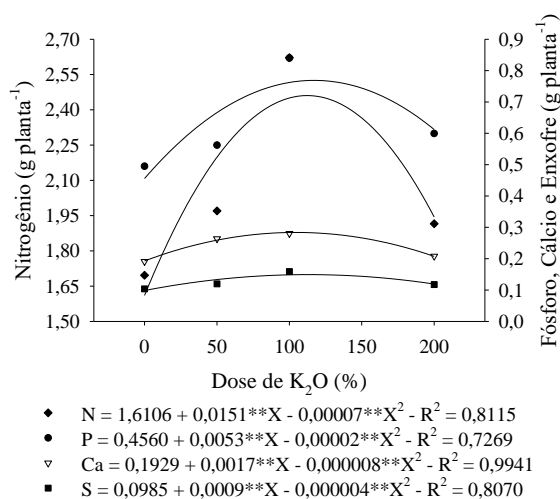


**Figura 9.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o acúmulo de enxofre (S) na palhada do milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Devido sua similaridade com o N, em relação a disponibilidade na planta e absorção, o S teve seu acúmulo reduzido conforme o aumento das doses para a fonte KCl, da mesma forma que ocorreu para o N, independente da fonte aplicada. Para o S, o aumento no seu acúmulo para a fonte VC a partir da dose de 100%, pode estar relacionado a sua maior disponibilidade na planta, devido, a vinhaça conter significativa concentração do mesmo, como pode ser observado na Tabela 2.

Para o acúmulo dos macronutrientes nos grãos de milho, ocorreu efeito significativo isolado das doses, para o acúmulo de N, fósforo (P), Ca e S, em que, todos se adequaram a equações polinomiais de segundo grau crescentes (Figura 10).

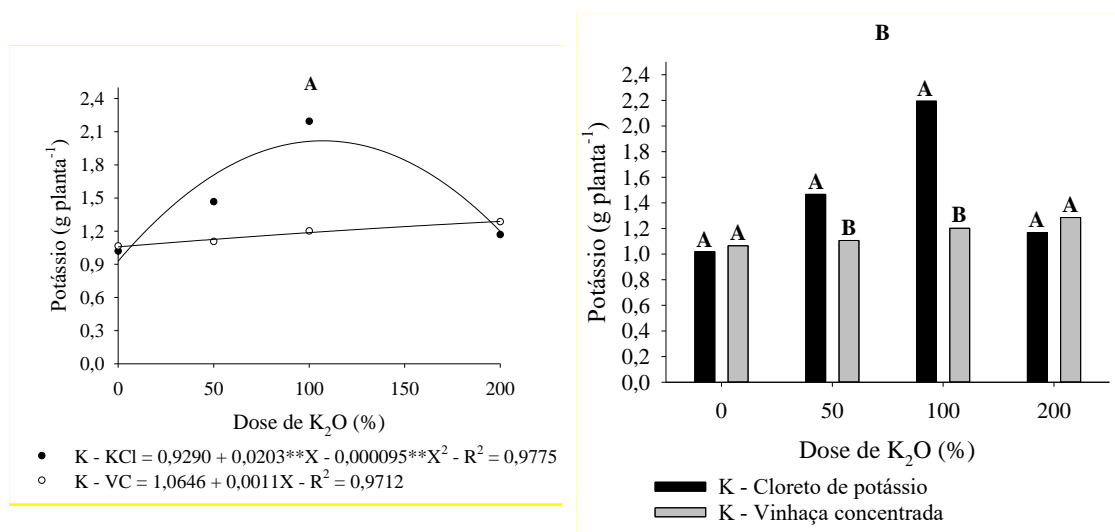
As doses estimadas de 107,85, 132,5, 106,25 e 112,5% obtiveram os maiores valores estimados de N, P, Ca e S, iguais a 2,42, 0,81, 0,28 e 0,15 g planta<sup>-1</sup>, sendo, 34, 44, 32 e 34% superiores aos estimados no tratamento sem aplicação (0%), respectivamente (Figura 10).



**Figura 10.** Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S) nos grãos de milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

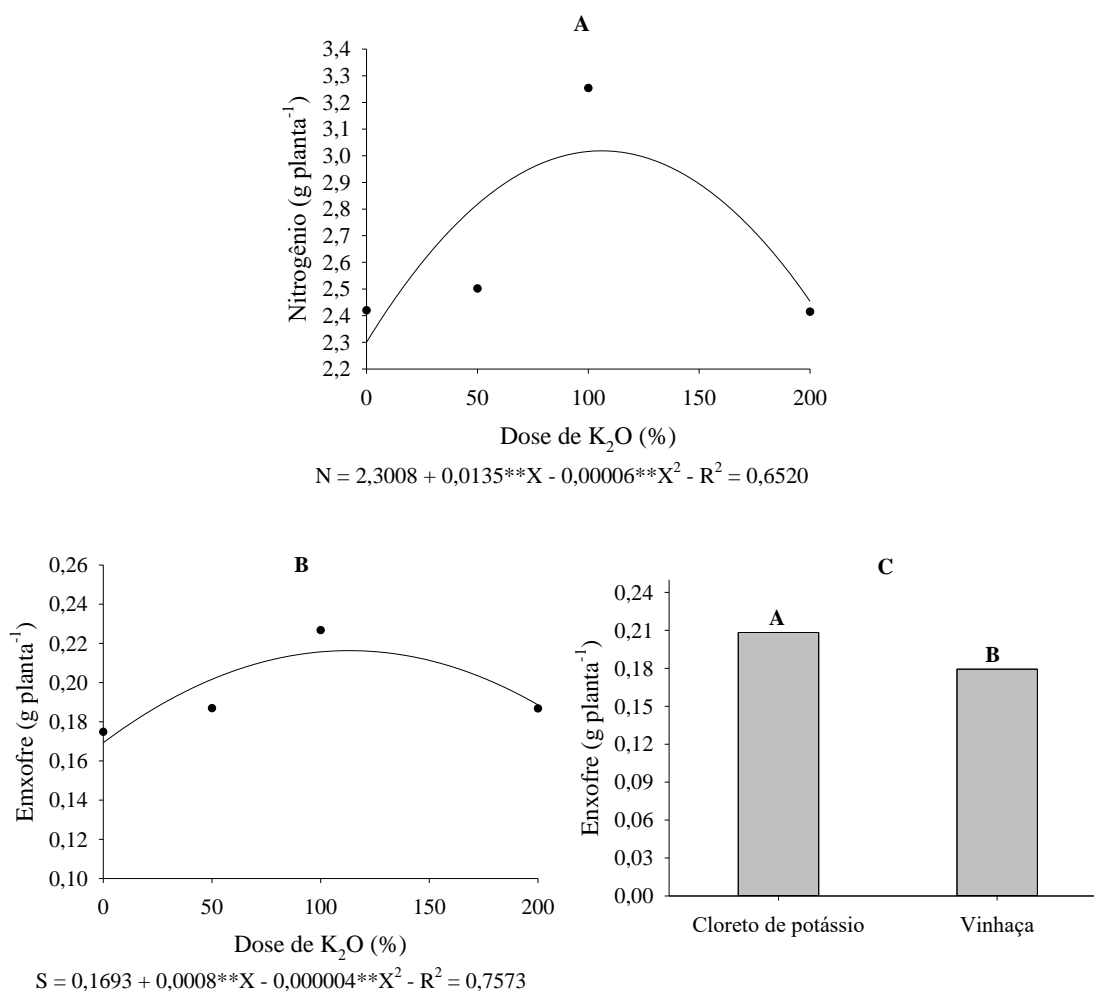
Estes acúmulos correspondem a exportações pelos grãos de milho de: 181,5 kg ha<sup>-1</sup> de N; 60,75 kg ha<sup>-1</sup> de P; 21 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 11,25 kg ha<sup>-1</sup> de S.

Na Figura 11A observa-se o acúmulo K nos grãos em função das doses para cada fonte utilizada. Para a VC estimou aumentos de  $0,055 \text{ g planta}^{-1}$  no acúmulo de K para cada aumento de 50% na dose, em que o maior valor foi constatado na dose de 200%, igual a  $1,28 \text{ g planta}^{-1}$  ( $96 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Para a fonte KCl a dose 106% apresentou o maior acúmulo, estimado em  $2,01 \text{ g planta}^{-1}$  ( $150,75 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ocorreu diferença entre as fontes apenas nas doses de 50% e 100% (Figura 11B), sendo a fonte KCl apresentando acúmulo 25 e 45% maior que a fonte VC.



**Figura 11.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o acúmulo de potássio (K) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Para o acúmulo total de N na planta de milho, ocorreu efeito isolado significativo das doses, em que os valores se adequaram a equação polinomial de segundo grau. A dose estimada de 106% apresentou o maior valor de N, igual a  $3,02 \text{ g planta}^{-1}$ , sendo, 23,75, 6,61, 0,07 e 18,82% superior aos estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200% (Figura 12A), respectivamente. Este valor, corresponde a extração de N pelo milho igual a  $226,5 \text{ kg ha}^{-1}$ .



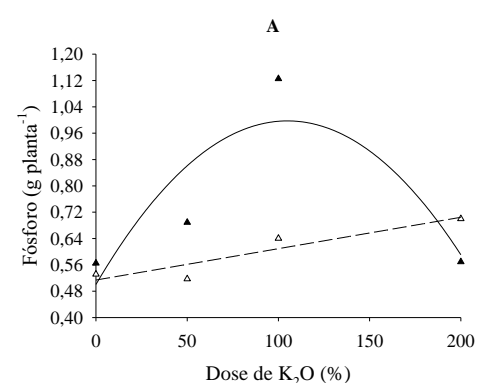
**Figura 12.** Acúmulo total de nitrogênio (N) em função das doses (A) e, acúmulo total de enxofre (S) na planta de milho em função das doses (B) e fontes (C) de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

A dose estimada de 100% obteve o maior valor de acúmulo total de S na planta de milho, igual a 0,21 g planta<sup>-1</sup> (15,75 kg ha<sup>-1</sup>), sendo, 19,11, 4,77 e 19,11% superior aos valores estimados nas dosagens de 0, 50 e 200% (Figura 12B). A fonte KCl proporcionou maior acúmulo de S na planta de milho em comparação com a fonte VC, na ordem de 16% ou 0,03 g planta<sup>-1</sup> (2,25 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 12C).

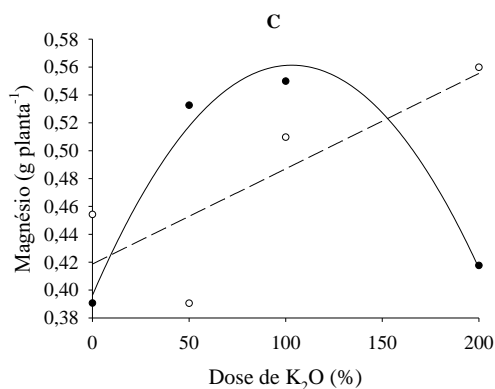
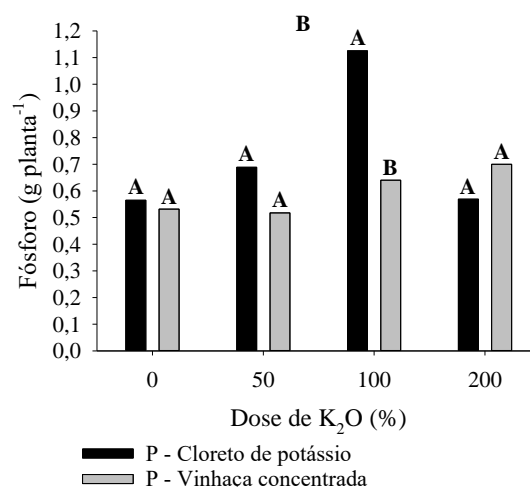
Da mesma forma que no acúmulo na palhada e nos grãos, o comportamento do acúmulo total de N e S foram semelhantes, em que, a relação entre seus acúmulos (N:S) na planta, independente da fonte e dose, foi de 13,6:1, estando dentro da faixa indicada por Arnon (1975), de 12:1 a 15:1, o que garante bom potencial de produção de matéria seca e proteína.



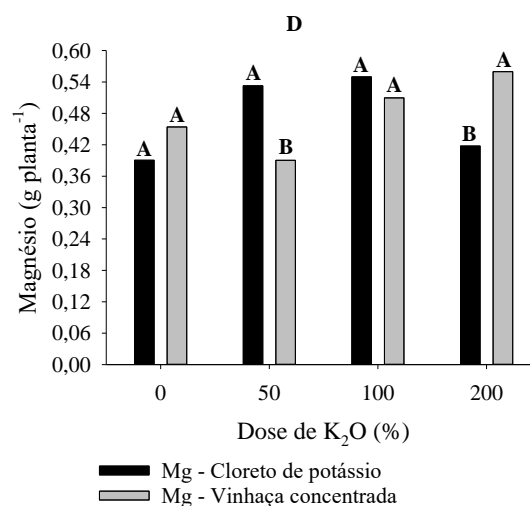
O acúmulo total de P, Mg e K em função das doses para cada fonte utilizada, podem ser observados na Figura 13A. Para a VC estimou aumentos de  $0,05 \text{ g planta}^{-1}$  no P para cada aumento de 50% na dose, em que o maior valor foi constatado na dose de 200%, igual a  $0,71 \text{ g planta}^{-1}$  ( $53,25 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Para a fonte KCl a dose 95% apresentou o maior acúmulo total de P, estimado em  $0,95 \text{ g planta}^{-1}$  ( $71,25 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 100% (Figura 13B), sendo a fonte KCl apresentando acúmulo de P 43% maior que a fonte VC.

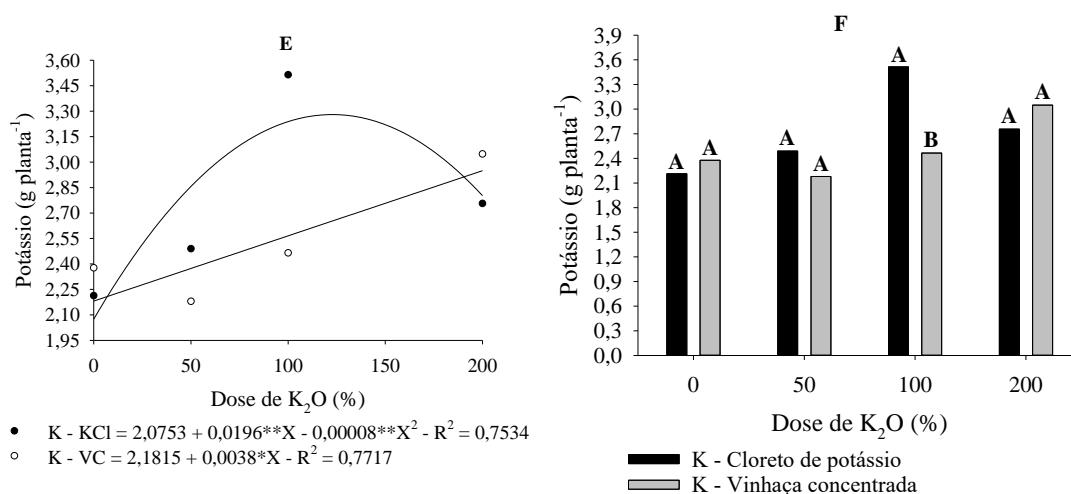


▲ P - KCl =  $0,5006 + 0,0095**X - 0,00005**X^2 - R^2 = 0,7583$   
 △ P - VC =  $0,5139 + 0,0010X - R^2 = 0,0,8591$



● Mg - KCl =  $0,3963 + 0,0032*X - 0,00002**X^2 - R^2 = 0,9798$   
 ○ Mg - VC =  $0,4187 + 0,0007*X - R^2 = 0,6430$





**Figura 13.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o acúmulo total de fósforo (P) (A e B), magnésio (Mg) (C e D) e potássio (K) (E e F) na planta de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Com relação ao acúmulo total de Mg, quando utilizada a fonte VC, estimou-se aumentos de  $0,035 \text{ g planta}^{-1}$  no Mg total para cada aumento de 50% na dose, em que o maior valor foi constatado na dose de 200%, igual a  $0,56 \text{ g planta}^{-1}$  ( $42 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo, 25,06% superior ao estimado na dose de 0%. Para a fonte KCl, a dose 100,03% apresentou o maior Mg total, estimado em  $0,56 \text{ g planta}^{-1}$  ( $42 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Figura 13C). Ocorreu diferença entre as fontes apenas nas doses de 50 e 200% (Figura 13D), sendo, a fonte KCl apresentou Mg total 27% maior que a fonte VC na dose de 50% e, a fonte VC apresentou Mg total na dose de 200%, 25% superior quando se utilizado o KCl.

Prado et al. (2004), afirmam que as maiores doses de potássio aplicadas implicaram no decréscimo de Ca e Mg acumulados na planta, como foi observado neste estudo. O inverso desta relação é mostrado por Medeiros et al. (2008), em que revela que o aumento de Ca e Mg no solo implica na diminuição de absorção do potássio. Segundo Silva et al. (2016) este fato acontece pela presença da série liotrópica, em que, o Mg é mais retido que o K nos coloides do solo, tornando-o menos disponível as plantas.

O acúmulo total de K na planta de milho em função das doses para cada fonte utilizada encontra-se na Figura 13. Para a VC estimou aumentos de  $0,19 \text{ g planta}^{-1}$  no K total para cada aumento de 50% na dose, em que o maior valor foi constatado na dose de 200%, igual a  $2,94 \text{ g planta}^{-1}$  ( $220,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo, 25,83, 19,37 e 12,92% superior ao estimado nas doses de 0, 50 e 100%, respectivamente. Para a fonte KCl a dose 122,5%

apresentou o maior K total, estimado em 3,28 g planta<sup>-1</sup> (246 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 13E). Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 100% (Figura 13F), sendo, a fonte KCl apresentou K total 29,85% maior que a fonte VC, com valores iguais a 3,51 g planta<sup>-1</sup> (263,25 kg ha<sup>-1</sup>) e 2,46 (184,5 kg ha<sup>-1</sup>) g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Menezes et al. (2018) observaram extrações de N, P e K no milho, com e sem aplicação de dejetos suíno, na ordem de 117, 56 e 257 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Corroborando com os resultados encontrados neste estudo.

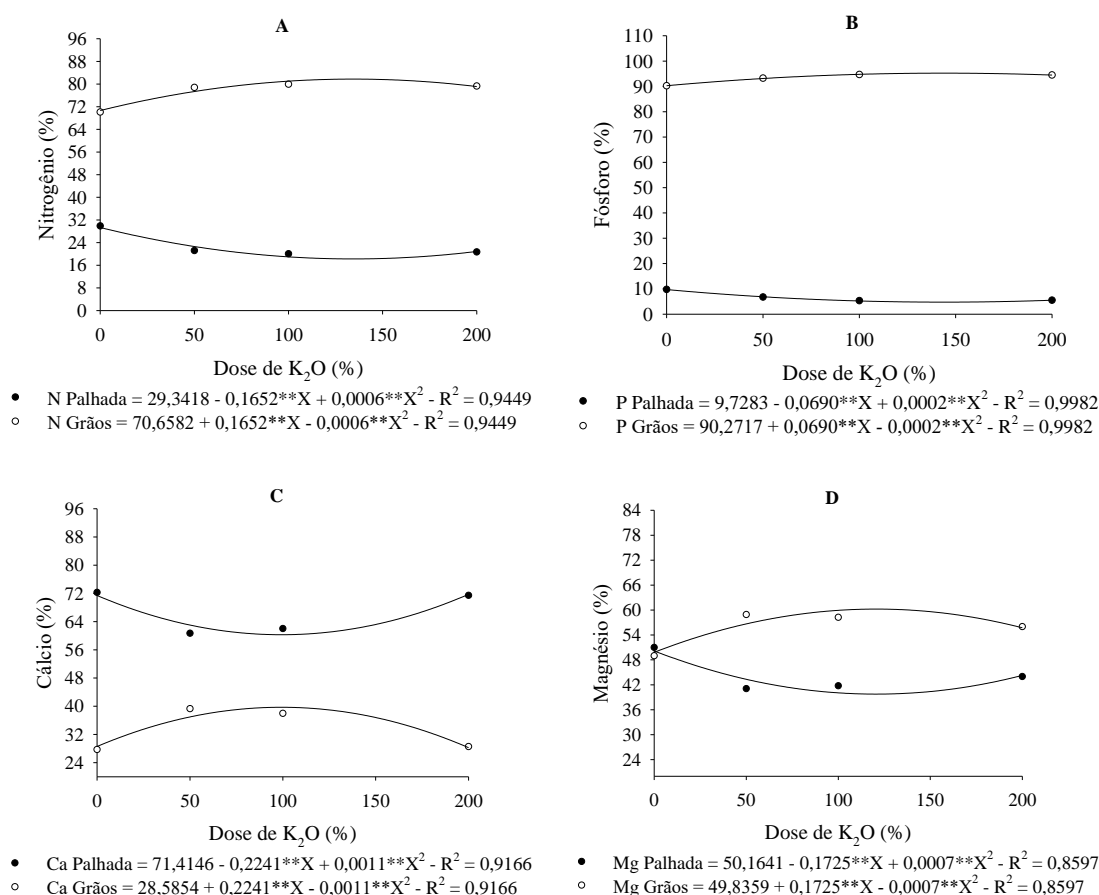
Doses acima de 125% para a fonte KCl, reduziram o acúmulo total de P, Mg e K. Este fato pode estar ligado ao alto potencial salino do cloreto de potássio, conforme o aumento da sua dose e acúmulo no solo, pode acarretar a alteração do potencial osmótico da região do solo ocupada pelas raízes, que dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Para a fonte VC, este fato não ocorreu, para os nutrientes P, Mg e K, devido a vinhaça não ter esta mesma característica salina que o KCl e, na sua composição química, possuir concentrações de P e Mg, o que não é encontrado no KCl.

Outro ponto a salientar são as formas em que o K é fixado ao solo, Vieira et al. (2016) aplicando cloreto de potássio em solução observaram que a dose aplicada provocou maiores teores de K total no solo do que K solúvel, ou seja, esse K ficou absorvido às cargas negativas dos colóides do solo na forma de K não trocável.

### **5.3.3 Particionamento dos macronutrientes no tecido vegetal**

Houve efeito significativo isolado do fator doses de potássio (D), para o particionamento de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg); efeito isolado das fontes (F) também para o K e, efeito de interação D x F somente para o enxofre (S).

O particionamento de N, P e Mg em função das doses foram semelhantes, em que, a maior quantidade destes nutrientes foram acumuladas nos grãos (Figura 14A, 14B e 14D). Para o N a dose estimada de 137,67% foi a que proporcionou a menor quantidade de N na palhada, igual a 17,97% e a maior nos grãos, 82,03%, do total de nitrogênio acumulado na planta. Para o P, a D estimada que proporcionou este mesmo comportamento que do N foi a de 172,5%, obtendo-se 3,77% do P na parte aérea e 96,23% do P acumulado nos grãos.



**Figura 14.** Particionamento do acúmulo de nitrogênio (N) (A), fósforo (P) (B), cálcio (Ca) (C) e magnésio (Mg) (D) na planta de milho em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Silva (2016) relatou que cerca de 50% do N total acumulado foi exportado para os grãos, valor este abaixo dos relatados em diversas literaturas (VASCONCELLOS et al., (1998) e COELHO; FRANÇA 1995) e do observado neste estudo. Os mesmos estudos indicam translocações para os grãos de cerca de 80 a 90% do P total absorvido pela planta, o que neste estudo foi superior a 90%.

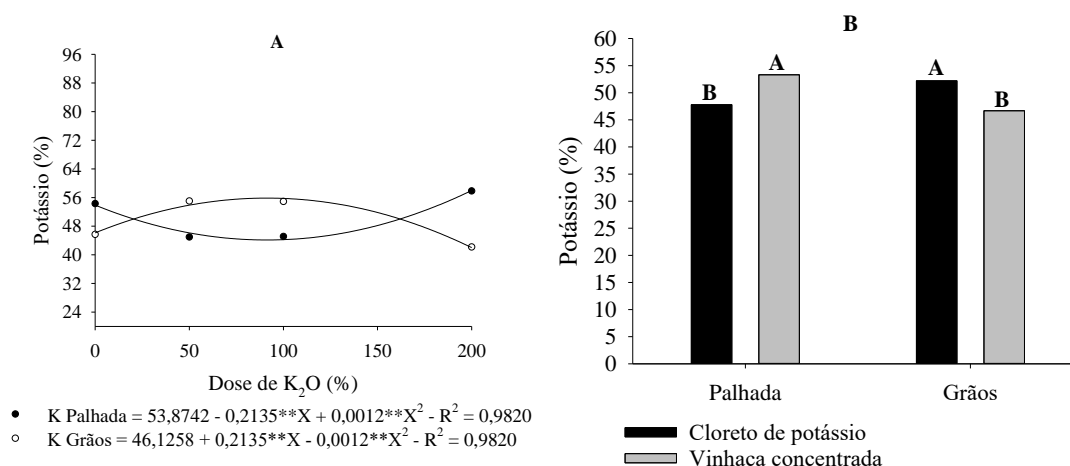
Para o Mg, sua divisão entre grãos e palhada foi menor, como observado na Figura 17B, na D de 0%, 50,16% foi alocado na palhada e 49,84% nos grãos. A dose estimada que proporcionou o maior acúmulo nos grãos e o menor na palhada foi a de 123,2%, em que, 39,53% do total de Mg acumulado na planta foi alocado na palhada e 60,47% nos grãos.

Segundo Bull (1993) o magnésio é o quarto nutriente mais absorvido pela planta de milho e sua exportação (parcela do extraído pela planta que é acumulado nos grãos) é

inferior ao fósforo e nitrogênio, corroborando com os resultados encontrados neste estudo.

O Ca, teve comportamento inverso ao observado para o N, P e Mg, em que, a maior parte do nutriente, independente da dose utilizada, foi alocado na palhada do milho. Como pode ser observado na Figura 14C, a dose estimada que proporcionou o maior acúmulo na palhada e o menor nos grãos foi a de 101,9%, em que, 60% do total de Ca acumulado na planta foi alocado na palhada e 40% nos grãos.

Para o particionamento de K, observa-se na Figura 15A que há mudança na predominância de acúmulo entre grãos e palhada do milho em função das doses. Nas D de 0 e 200% ocorre maior porcentagem de particionamento na palhada, iguais a 53,87 e 59,17%, respectivamente.

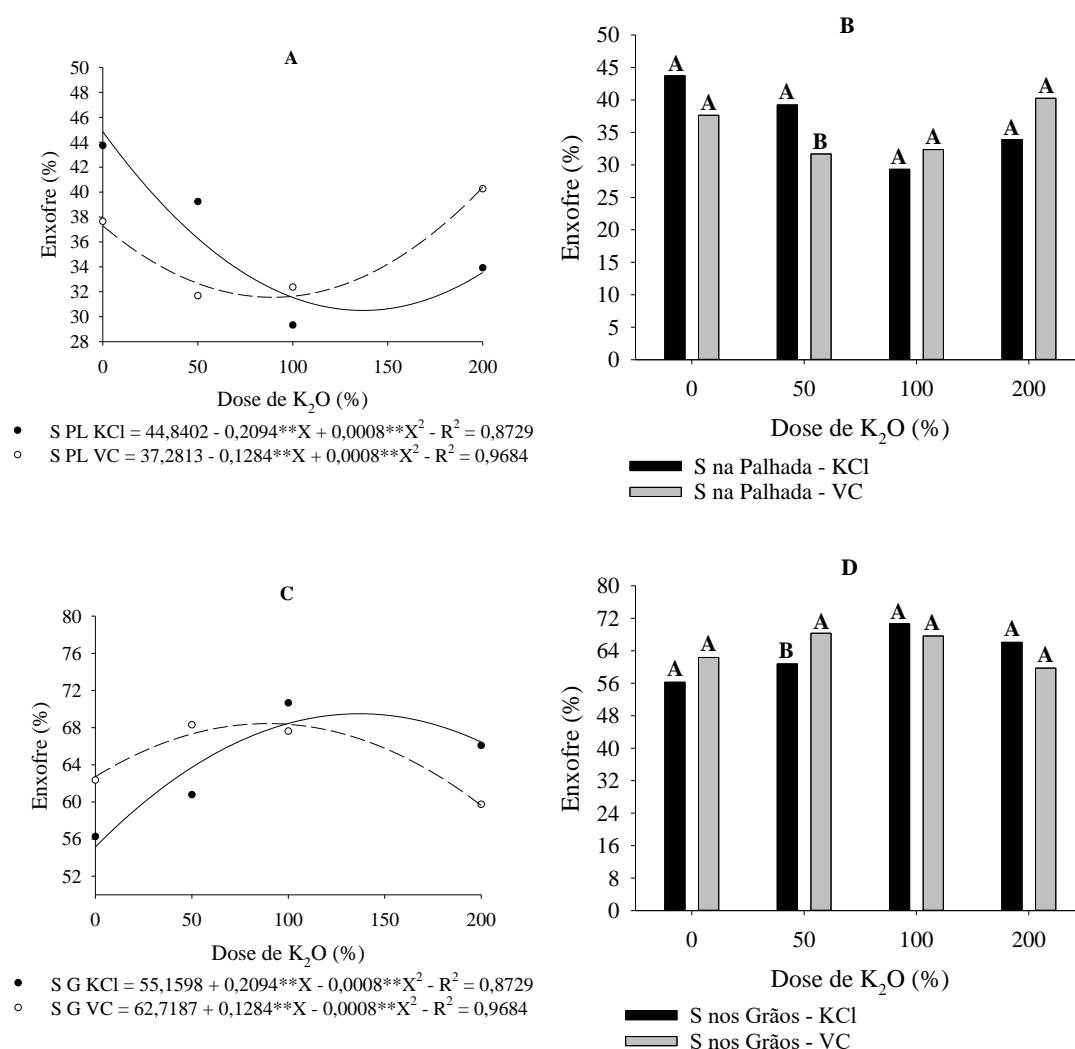


**Figura 15.** Particionamento do acúmulo de potássio (K) na planta de milho em função das doses (A) e das fontes (B) de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

A dose estimada que proporcionou o maior acúmulo nos grãos e o menor na palhada foi a de 88,96%, em que, 44% do total de K acumulado na planta foi alocado na palhada e 66% nos grãos. Há também, uma inversão de comportamento no particionamento do K dentro de cada fonte (Figura 15B). Para a palhada, a fonte KCl proporcionou menor alocação de K quando em comparação a fonte VC, com valores iguais a 47,79% e 53,31%, respectivamente. Nos grãos, ocorreu o inverso, na fonte KCl 52,21% do K foi alocado nos grãos e quando se utilizada a VC, esse valor foi igual a 46,69% nos grãos.

Estes resultados de particionamento do K nos grãos, encontram-se superiores aos observados por Coelho e França (1995) e Rossato (2004), 18 a 25% e, por Silva (2016), 18 e 35%.

Para o particionamento de S, observa-se na Figura 16A e 16C que a maior quantidade de S foi acumulada nos grãos, independente da dose e fonte utilizadas. As doses estimadas para as fontes KCl e VC que proporcionaram o menor acúmulo na palhada foram as de 130,9 e 80,25%, com valores iguais a 31,14 e 32,13%, respectivamente. Estas mesmas dosagens, foram as que proporcionaram o maior acúmulo nos grãos, com valores iguais a 68,86 e 67,87%.



**Figura 16.** Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o particionamento do acúmulo de enxofre (S) na palhada (PL) (A e B) e nos grãos (G) (C e D) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Com relação as fontes, ocorreu diferença estatística entre elas apenas na dose de 50%, para o particionamento na parte aérea e grãos (Figura 16B e 16D). Para a palhada, a fonte KCl proporcionou maior alocação de S quando em comparação a fonte VC, com valores iguais a 39,23% e 31,69%, respectivamente. Nos grãos, ocorreu o inverso, na fonte KCl 60,77% do K foi alocado nos grãos e quando se utilizava a VC, esse valor foi igual a 68,31% nos grãos.

Segundo Silva (2016) considerando o acúmulo total, o N e K são requeridos em maiores quantidades, e P, Ca, Mg e S em quantidades mais baixas, corroborando com os resultados observados neste estudo, em que, a escala de absorção e acúmulo de macronutrientes seguiu ordem decrescente de: N>K>Ca>P>Mg>S, correspondendo a faixas de extração médias de: 173-227, 160-234, 43-65, 38-62, 31-42 e 13-16 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os autores ainda citam que a maior parte do N, P, Mg e S são translocados para os grãos, corroborando também com os resultados deste estudo. Contudo, também ocorreu entre as doses de 55 e 145% maior acúmulo de K nos grãos.

## 5.4 CONCLUSÕES

Independentemente da fonte de potássio utilizada ocorre deficiência de potássio na planta de milho até a dose de 24% (21,6 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e, redução nos teores de magnésio e cálcio no tecido vegetal do milho conforme o aumento da disponibilidade de potássio, na época de florescimento.

Não há influência das doses e fontes de potássio utilizadas neste estudo com relação ao acúmulo total de cálcio no tecido vegetal do milho.

A dose de 200% para a vinhaça concentrada proporciona o maior acúmulo total de fósforo, magnésio e potássio no tecido vegetal do milho. Para o cloreto de potássio, essa dose varia entre 95 e 123%.

A dose de 100% (95 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) da recomendação de potássio aplicado via cloreto de potássio ou vinhaça concentrada é a que proporciona o melhor balanço nutricional de macronutrientes no milho.

A escala de absorção e acúmulo de macronutrientes pelo milho seguiu a seguinte ordem decrescente: N>K>Ca>P>Mg>S.

A maior parte do nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre acumulados são exportados pelos grãos, independente da dose e fonte de potássio utilizada. Para o cálcio, essa relação é inversa.

A vinhaça concentrada promove maior acúmulo de potássio na palhada e o cloreto nos grãos de milho.

## 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.  
BERNARDI, A. C. de C.; OLIVEIRA jr, J. P. de.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. da S.; FREITAS, P. L. de.; CARVALHO, M. da C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milheto e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. D. **Seja o Doutor do seu Milho**. Arquivo do agrônomo n°2 Potafos, 1995.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 12 - 26, 2012.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LEAL, A. J. F.; VALDERRAMA, M.; LANEKO, 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. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v.08, n.01, p.19 – 30, jan/abr. 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MATOS, A. T. de; GARIGLIO, H. A. de A.; LO MONACO, P. A. V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.7, p.743-749, 2013.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no



desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Áplico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 04, p.799-806, 2008.

MELO, R.F.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T.; RUIZ, H.A.; OLIVEIRA, L.B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 456-465, abr./jun. 2006.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JÚNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 3, p.55-59, jul./set. 2018.

NAKAO, A. H.; RODRIGUES, R. A. F.; SOUZA, M. F. P.; CATALANI, G. C.; CENTENO, D. C. Aplicação de composto orgânico e adubo químico no feijoeiro e seu efeito residual sobre a cultura do milho. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.25, n.4, p.387-400, 2016.

PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAION, S.; SOUZA, L. G. M.; PIVETTA, R. S.; BOSSOLAN, J. W. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 3, p.193-200, julho-setembro, 2016.

PRADO, R. de M.; BRAGHIROLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. de M.; ALMEIDA, E. V. de Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n. 02, p. 295-299, 2004.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVERA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KIMPORA, J. D.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “*in natura*” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n.1.p. 19-42, 2006.

RIBEIRO, P. H. P.; LELIS NETO, J. A.; TEIXEIRA, M. B.; GUERRA, H. O. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N. Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em Latossolo vermelho amarelo e Nitossolo vermelho. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.8, nº. 5, p.403 - 410, 2014.

ROSSATO, R. R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 2004. 130p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SILVA, A. D.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; NASCIMENTO, W. P. Fontes e doses de magnésio na cultura do milho. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v.09, n.03, p.20 - 30, set/dez. 2016.

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. Dissertação de mestrado: Mestrado em Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas. 52p., 2016.

SILVA, E. L. **Adubação potássica na cultura da soja cultivada na região de Cerrado maranhense**. Chapadinha-MA, UFMA, 2016. 31 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia).

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

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, p.1835-1845, 1998.

VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS, J. S. Capacidade de suprimento de potássio em doze classes de solos em função de cultivos sucessivos de milho. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 59, n. 3, p. 219-227, jul./set. 2016.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In.: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 7, p. 169-183.