

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE POTÁSSIO EM
CANA-PLANTA CULTIVADA EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO DO CERRADO

Álvaro do Nascimento Rodrigues

Engenheiro Agrônomo

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Setembro de 2019



**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Álvaro do Nascimento Rodrigues

Título do trabalho: Doses e modos de aplicação de potássio em cana-planta cultivada em Neossolo Quartzarênico do Cerrado.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)²

Data:

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE POTÁSSIO EM
CANA-PLANTA CULTIVADA EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO DO CERRADO**

Álvaro do Nascimento Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Timossi

Co-orientador: Prof. Dr. Leandro Flávio Carneiro

Dissertação apresentada à
Universidade Federal
de Goiás – Regional Jataí,
para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Setembro de 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

do Nascimento Rodrigues, Álvaro
DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE POTÁSSIO EM CANA-
PLANTA CULTIVADA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO DO
CERRADO [manuscrito] / Álvaro do Nascimento Rodrigues. - 2019.
12, 30 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Timossi; co-orientador Dr.
Leandro Flávio Carneiro.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade
Acadêmica Especial de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação
em Agronomia, Jataí, 2019.

1. Cana-de-açúcar. 2. Fertilidade do solo. 3. Nutrição de plantas.
I. Timossi, Paulo César , orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 014/2019-PPGA da sessão de Defesa de Dissertação de **ÁLVARO DO NASCIMENTO RODRIGUES** que confere o título de Mestre em **AGRONOMIA**, na área de concentração em **Produção Vegetal**

Ao sexto dia do mês de setembro de dois mil e dezenove, a partir das 09 horas e 30 minutos, no Auditório do Prédio da Pós-graduação da Universidade Federal de Goiás - Regional de Jataí, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "**DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE POTÁSSIO EM CANA-PLANTA CULTIVADA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO DO CERRADO**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Paulo César Timossi (CIAGRA/UFU-REJ), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Hildeo Ferreira da Assunção (CIAGRA/UFU), membro titular interno e Doutor Flávio Araújo Pinto (Consultor autônomo - Jataí/GO), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Paulo César Timossi, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao sexto dia do mês de setembro de dois mil e dezenove.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Paulo César Timossi, Professor do Magistério Superior**, em 06/09/2019, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Araújo Pinto, Usuário Externo**, em 06/09/2019, às 12:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hildeo Ferreira Da Assunção, Professor do Magistério Superior**, em 06/09/2019, às 12:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&M_organizacao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0876373** e o código CRC **1634756F**.

Referência: Processo nº 23070.025117/2019-96

SEI nº 0876373

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ÁLVARO DO NASCIMENTO RODRIGUES - nasceu em Recife, dia 22 de março de 1985. Filho e neto de trabalhadores da indústria sucroenergética do estado de Pernambuco. Graduiu-se em Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco (2004 – 2009), onde foi bolsista de iniciação científica e estagiário na área de solos, com projetos de pesquisa em 4 usinas de cana-de-açúcar. Iniciou a vida profissional na Usina Salgado S/A (2009 – 2011) e neste período cursou a Especialização MBA em Gestão da Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), focando a melhoria contínua de processos agrícolas na produção de cana-de-açúcar. Em 2011 saiu de Pernambuco para trabalhar em Goiás, na Energética Serranópolis LTDA. De 2012 a 2014 trabalhou na União Industrial Açucareira LTDA., no estado da Bahia. Retornou ao estado de Goiás, para trabalhar novamente na Energética Serranópolis (2014 – 2018); Compôs a equipe vencedora do prêmio IDEA de maior produtividade do estado de Goiás do ano 2016, representando a empresa na cerimônia de premiação em Ribeirão Preto-SP. Durante este período, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia na UFG-Regional Jataí, onde desenvolveu o presente trabalho. Atualmente, é responsável pela pesquisa e desenvolvimento agrônomo da Usina Santa Clotilde, estado de Alagoas.

EPÍGRAFE

“O sentido do sonho é único” (Marcus Aciolly)

Dedico,

A meus pais, Ageu e Ana Rosa, por dedicarem suas vidas aos filhos.

A minha companheira Thâmara, pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por guiar meus passos.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, pela possibilidade de realizar este trabalho.

Ao meu orientador Professor Dr. Paulo César Timossi, pelo apoio fundamental a este trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Dr. Leandro Flávio Carneiro, pela amizade e incentivo aos estudos e pelas orientações acadêmicas e ensinamentos para a vida.

Ao Professor Dr. Hildeu Ferreira da Assunção, Dr. Heroldo Weber e Dr. Flávio Araújo pelas contribuições essenciais a este trabalho.

Ao Eng. Agrônomo Mávio Lúcio da Silva, pela motivação e por tornar possível a realização deste trabalho.

Ao Técnico Agrícola Adriano Pereira e sua competente equipe, pela contribuição essencial à condução do experimento.

À Karina Severo, pelo valioso apoio na seretaria do Programa de Pós-graduação em Agronomia.

Aos colegas Arlan, Rodrigo, Heitor, Rogério, Kleidir, Guilherme, Alan e Cássio, pela amizade e companheirismo durante esta jornada.

A Energética Serranópolis LTDA., pelo apoio financeiro.

À Usina Santa Clotilde, nas pessoas de Leonardo Costa, Daniel Berard e Cristóvão Oiticica pelo apoio e compressão fundamental à conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Cana-de-açúcar no Centro-Oeste	3
2.2. Aspectos edafoclimáticos da cana-de-açúcar	4
2.3. Caracterização de solos arenosos	5
2.4. Dinâmica de potássio no solo	5
2.5. Adubação potássica em solos arenosos.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÃO	22
6. IMPLICAÇÕES	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE POTÁSSIO EM CANA-PLANTA CULTIVADA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO DO CERRADO

RESUMO: O Sudoeste Goiano possui extensas áreas com solos arenosos onde se tem observado um avanço no cultivo de cana-de-açúcar. As usinas de cana-de-açúcar têm usado doses altas de potássio no sulco de plantio via cloreto de potássio em solos arenosos para o cultivo da cana-planta, condição que pode reduzir a eficiência da adubação potássica e contribuir para baixa produtividade, uma vez que, são solos de baixa capacidade de troca de cátions. O objetivo deste trabalho foi avaliar doses e modo de aplicação de potássio em cana-planta cultivada em Neossolo Quartzarênico órtico típico do Sudoeste Goiano. O experimento foi instalado no município de Aporé-GO, com a cultivar RB92579, no mês de março de 2016. O delineamento adotado foi de blocos casualizados com três repetições num esquema fatorial 5 x 3, onde os tratamentos foram constituídos por cinco doses de potássio (0, 60, 110, 160, 200 kg ha⁻¹ de K₂O) e três modos de aplicação (sulco, cobertura e parcelado). A fonte utilizada foi o cloreto de potássio (60% de K₂O). Não houve interação entre doses e modos de aplicação para nenhuma variável estudada. As doses crescentes de potássio elevaram os rendimentos agrícolas e industriais, enquanto os modos de aplicação não interferiram nas variáveis biométricas da cultura.

Palavras chave: solo arenoso, lixiviação, adubação potássica

DOSES AND MODES OF POTASSIUM APPLICATION IN SUGARCANE - PLANT CULTIVATED IN ARENOSOL OF CERRADO

SUMMARY: The South-west of Goiás State has extensive areas with sandy soils where there has been an advance of sugarcane cultivation. Sugarcane crops have used high doses of potassium in the planting furrow by potassium chloride in these soils for sugarcane-plant cultivation, a condition that may increase the leaching of this nutrient. The objective of this work was to evaluate dose and mode of application of potassium in cane-plant cultivated in Arenosol of the south-west of Goiás State. The experiment was carried out in Aporé-GO, with the cultivar RB92579, in March, 2016. The design was randomized blocks with three repetitions in a 5 x 3 factorial scheme, where the treatments consisted of five doses of potassium (0, 60, 110, 160, 200 kg ha⁻¹ of K₂O) and three modes of application (in the furrow, in covering and split fertilization). The source used was potassium chloride (60% K₂O). There was no interaction between doses and modes of application for any studied variable. Increasing doses of potassium increased agricultural and industrial yield, while the modes of application did not interfere in the biometric variables on the crop.

Keywords: sandy soil, leaching, potassium fertilization

1. INTRODUÇÃO

Segundo a CONAB (2018), a área cultivada com a cana-de-açúcar no Brasil é de 10,24 milhões de hectares produzindo 633,26 milhões de toneladas. Apesar deste montante ser produzido predominantemente em solos restritivos, a FAO (2017) prevê que o Brasil mantenha os 48% da produção de açúcar mundial, garantindo-se como maior produtor até o ano de 2026.

A região Centro Oeste se destaca em crescimento na produção canavieira, passando de 4.696.800 toneladas para 137.434.000 toneladas de cana nos últimos 5 anos (CONAB, 2013; CONAB, 2018). A expansão tem ocorrido predominantemente em solos de textura arenosa com baixo potencial produtivo, que ocupam 60 milhões de hectares do cerrado brasileiro (SCOPEL et al., 2005).

A expansão da cultura no sudoeste goiano tem sido predominantemente em Neossolos Quartzarênicos órticos típicos, os quais representam 15% do bioma Cerrado e na região de "Matopiba", nos estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia, considerada como a última grande fronteira agrícola do país, eles representam 20% do território (LUMBRERAS et al., 2015).

Os solos arenosos enquadram-se nas classes texturais de areia, areia franca e franco arenoso até a profundidade de 0,75 m ou mais e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos faz distinção destes no primeiro nível categórico entre Neossolos, Latossolos e Argissolos (SANTOS et al., 2013). São solos que apresentam relevo favorável ao plantio e colheita mecanizados, entretanto são caracterizados pela baixa retenção de água, baixa capacidade de troca de cátions, baixo teor de matéria orgânica do solo (MOS), alta saturação por alumínio, baixa saturação por bases e alta susceptibilidade a erosão devido à baixa coesão entre os grãos (alta friabilidade) e baixa estabilidade de agregados (DONAGEMMA et al., 2016).

A baixa capacidade de troca de cátions destes solos está correlacionada com os baixos teores de MOS e de argila, além disso, o tipo de argilomineral predominante é a caulinita com baixa densidade de cargas (SPERA et al., 1999). A baixa capacidade de retenção de cátions associada à baixa preferência de adsorção do potássio aos colóides do solo aumenta, naturalmente, a concentração deste elemento na solução do solo e conseqüentemente elevam o potencial de perdas por lixiviação deste nutriente (ERNANI et al., 2007; GARCIA et al., 2015).

As perdas por lixiviação de potássio nestes solos podem se intensificar com o uso de cloreto de potássio, especialmente no sulco de plantio, uma vez que, os íons K^+ e Cl^- possuem baixa preferência de adsorção, tendendo ao aumento da concentração destes na solução do solo e, também na formação do composto neutro solúvel de KCl^0 , os quais percolam com facilidade no perfil do solo, principalmente sob intensas precipitações. Além das questões relacionadas às perdas de potássio em solos arenosos, o uso de cloreto de potássio como fonte, especialmente no sulco de plantio e em altas doses, pode colocar em risco o estabelecimento da cana, uma vez que, esta fonte apresenta um alto índice salino e, conseqüentemente pode aumentar o potencial osmótico da solução do solo, comprometendo a brotação da cana.

Uma prática que tem beneficiado os solos cultivados com cana-de-açúcar é a colheita mecanizada de cana crua. Esta predomina nos canaviais da região Centro-Sul do país, deixando uma cobertura de palha que contém nutrientes, tornando-se um importante insumo principalmente no fornecimento de potássio. Apesar disto, os boletins de recomendação de adubação potássica para cana-planta no Brasil não levam em consideração o potássio no palhicho da última 'socaria', independentemente do sistema de colheita, o que torna fundamental os estudos em solos e nutrição de plantas neste ambiente.

Para aprimorar o manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar, os modos de aplicação e doses de potássio, via cloreto de potássio, são fatores decisivos para obtenção de uma melhor eficiência do uso deste nutriente pela cana, especialmente em solos arenosos da Região do Cerrado, os quais apresentam teores abaixo da necessidade da cultura (NOVAIS, 2007). Estes teores baixos são explicados pelas reservas naturais insuficientes e baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Tais características restringem a produtividade da cana-de-açúcar à faixa aproximada de 60 a 70 toneladas por hectare no sudoeste de Goiás.

O avanço da cultura da cana tem ocorrido neste ambiente de produção, para o qual há carência de informações, não só da adubação potássica, mas dos demais nutrientes e também sobre práticas de calagem e gessagem (DONAGEMMA et al., 2016). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar doses e modos de aplicação de potássio, via cloreto de potássio, em cana-planta num Neossolo Quartzarênico órtico típico do sudoeste goiano.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cana-de-açúcar no Centro-Oeste

Um aspecto relevante para a canavicultura da do Centro-Oeste é a proximidade do estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil. Segundo Shikida et al. (2014), as mesorregiões dos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul possuem maior taxa de crescimento por serem beneficiadas pela proximidade de fornecedores de equipamentos, novas tecnologias para a atividade e consumidores de açúcar e álcool, como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

O Centro-Oeste se destaca na produção canavieira cujas lavouras têm sido estabelecidas sobre áreas antes ocupadas por cultivos anuais e pastagens em solo com baixa fertilidade (CASTRO et al., 2010); Esta substituição de outras culturas pela cana se deu em decorrência da maior rentabilidade desta cultura em relação aos cultivos tradicionais do Centro-Oeste, o que se intensificou após o aumento da demanda por etanol provocada pelo surgimento dos carros *flex fuel* e mistura deste combustível renovável à gasolina (BITTENCOURT et al., 2014).

A região tem grande potencial para continuar crescendo, porém, há limitações que devem ser expostas. Desta forma, Shikida (2013) levantou limites e potencialidades da produção de cana-de-açúcar no Centro-Oeste, destacando-se como limitações a infraestrutura de transporte e maior custo para formação de mão de obra (pouca tradição regional). Por outro lado, as potencialidades são maior segurança alimentar e energética, possibilidade de crescimento em áreas contínuas, com topografia favorável.

Apesar de ser importante ao desenvolvimento do país, a expansão canavieira no Centro-Oeste tem sido extensiva, baseando-se no aumento de produção e aumento de área cultivada (WISSMAN et al., 2014); Por isso, são necessários investimentos em tecnologias como cultivares de cana e insumos que elevem a produtividade desta cultura e promover melhorias na sustentabilidade do sistema de produção (BITTENCOURT et al., 2014).

2.2. Aspectos edafoclimáticos da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar desenvolve-se bem em todas as regiões brasileiras, sob condições edafoclimáticas variando de adversas à favoráveis. De acordo com Alfonsi et al. (1987), as regiões canavieiras apresentam precipitação pluviométrica superior a 1500 mm, o que supre a necessidade hídrica da cultura, caso haja distribuição adequada.

Em relação aos solos brasileiros, os canaviais predominam em Latossolos e Argissolos (PASQUALETO & ZITO, 2000), porém a expansão da lavoura tem ocorrido em Neossolos, ambiente com restrições hídricas, físicas e químicas (LUMBRERAS et al., 2015).

A região Centro-Oeste do Brasil possui aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar por ser favorecida pelas condições edáficas, de relevo e por suportar bem as mudanças climáticas desta Região (MARIN & NASSIF, 2013). A temperatura do ar acima de 25°C no período vegetativo e abaixo de 20°C na época da colheita favorece o crescimento e maturação da cana, respectivamente. Segundo Santos (1977), a temperatura ideal para a brotação é 32° C, enquanto que, para a fase de crescimento (e desenvolvimento radicular) o ideal é a faixa de 25 a 32° C; Temperaturas abaixo de 18°C diminuem a velocidade de crescimento da cultura, chegando a paralisar quando abaixo de 10°C. Temperaturas inferiores a 21°C (noturna) e acima de 28°C (diurna) são comuns na região Centro-Oeste durante os meses com menores precipitações (junho a setembro), sendo este o momento de máximo acúmulo de sacarose pela cana-de-açúcar, entretanto ocorre redução na velocidade de brotação e desenvolvimento vegetativo.

Em relação ao fotoperíodo, a cana-de-açúcar, por ser uma planta C4, possui alta eficiência fotossintética e ponto de saturação luminosa elevado, significando que quanto maior o fotoperíodo (10 a 14 horas), maior será o comprimento do colmo e acúmulo de sacarose (ALFONSI et al., 1987). Enfim, a cana-de-açúcar apresenta exigências edafoclimáticas que devem ser consideradas durante o planejamento de seu cultivo, para que sejam alcançados os melhores resultados de produtividade agroindustrial.

2.3. Caracterização de solos arenosos

Os solos arenosos possuem restrições agronômicas ao cultivo de cana-de-açúcar, em especial, os Neossolos Quartzarênicos. Segundo descrição de Souza et al. (2004) e Prado (2016) estes solos possuem textura arenosa em todo o perfil (200 cm), alta lixiviação de cátions, alta suscetibilidade à erosão, baixa retenção de água e de cátions e baixo teor de matéria orgânica.

Para viabilização do cultivo de plantas com ciclos mais longos nestes solos, como é o caso da cana-de-açúcar, é necessário um manejo agrícola intensivo para controle de erosão, adubação e irrigação, caso contrário, haverá o empobrecimento e degradação do solo, o que resultará em baixa produtividade e consequente inviabilidade econômica da lavoura (SOUZA et al., 2004; CARNEIRO et al., 2007).

Estudos realizados por Carneiro et al. (2007), em Neossolo Quartzarênico no município de Mineiros-GO, atribuiu o baixo teor de potássio do solo cultivado com pastagem nativa às perdas por erosão e lixiviação associada a baixa CTC e baixa preferência de retenção deste elemento. Confirmando estes resultados, Freitas et al. (2013) atribuíram às perdas por lixiviação, os baixos teores de potássio em solos de textura arenosa sob cultivo de cana-de-açúcar por mais de 40 anos no município de Guariba-SP.

2.4. Dinâmica de potássio no solo

O potássio pode ser encontrado em quatro formas no solo: trocável, não-trocável, mineral e em solução, de modo que, a soma destas formas resulta no teor de potássio total (DINIZ et al., 2007). O potássio em solução é o que causa os maiores problemas com lixiviação, principalmente em períodos de alta precipitação pluviométrica (percolação da água no solo) e quando a fonte do fertilizante é o KCl, tendo em vista sua alta solubilidade em água decorrente dos seus minerais de origem de alta solubilização (DUARTE et al., 2013).

Como os solos do Cerrado apresentam baixos teores de potássio, em especial os Neossolos Quartzarênicos (DINIZ et al., 2007), torna-se o nutriente mais exigido pela cultura da cana aplica-se doses elevadas de fertilizante potássico para obtenção de altas produtividades, o que pode acentuar as possibilidades de perdas

de potássio por lixiviação (AMARAL et al., 2014). De acordo com Ernani et al. (2007), devido a baixa preferência de ligação do potássio aos colóides do solo (série liotrópica), pode haver maior mobilidade deste elemento no perfil do solo e, por isso, maiores perdas por lixiviação. Estas cargas negativas podem ser geradas através do manejo com plantas de cobertura que, assim como outros compostos orgânicos, incrementa matéria orgânica ao solo, aumentando a CTC e consequente retenção de potássio em superfície, reduzindo assim, a sua mobilidade e perda por lixiviação (BRITO et al., 2014).

2.5. Adubação potássica em solos arenosos

O potássio é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cana-de-açúcar e é considerado um dos principais ativadores enzimáticos do metabolismo vegetal (OLIVEIRA, 2010). O potássio é essencial para a ativação de enzimas envolvidas nos processos de fotossíntese, assimilação de carbono, síntese de clorofila, translocação de sacarose, além de interferir na turgescência celular, suscetibilidade ao vento e estresse hídrico (ROSSETO et al., 2008).

Em relação à extração e exportação de potássio pela cana, Oliveira (2010) estudando 11 cultivares sob irrigação plena, verificou que houve uma exportação de 58% do potássio extraído pela planta, mostrando maior acúmulo no colmo em relação ao ponteiro (folhas + palmito). O mesmo estudo mostrou que a cultivar RB92579, utilizada nesta pesquisa, exportou 97 kg ha⁻¹ de K₂O dos 212 kg ha⁻¹ de K₂O extraídos, mostrando que esta foi superior à média das outras cultivares na conversão do potássio em produção de cana. A ordem de acúmulo de nutrientes no trabalho citado foi: K > N > Ca > Mg > P.

Em relação ao fertilizante, o cloreto de potássio é a fonte utilizada em 95% da produção agrícola do mundo por causa de sua alta concentração de potássio (aproximadamente 60% de K₂O) e preço inferior às outras fontes (NASCIMENTO, 2004).

Apesar das qualidades, dentre as propriedades deste fertilizante, destaca-se o alto índice salino que pode causar perdas de água das raízes para o ambiente (seca fisiológica) e alta solubilidade que pode agravar as perdas por lixiviação, principalmente em doses elevadas (ALCARDE et al., 1998).

As doses de potássio recomendadas nas áreas comerciais de cana-planta variam de 30 a 140 kg ha⁻¹ em função do teor do elemento no solo e da expectativa de produtividade da cultura (SOUZA et al., 2004; PENATTI et al., 2013). Lana et al. (2004) obtiveram aumento de produtividade até a dose de 180 kg ha⁻¹ em cana-planta cultivada em solo arenoso no estado de São Paulo.

Por fim, vale destacar que ainda há escassez de trabalhos com fatores relacionados à eficiência do uso de potássio nos sistemas de produção agrícolas, principalmente em solos de textura leve no sudoeste goiano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Aporé-GO, fazenda Thermotec, (52°03'52'' N e 18°33'10'' S) cuja atividade predominante é o cultivo da cana-de-açúcar para produção de açúcar e álcool. O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico órtico típico e cultivado com cana-de-açúcar durante 8 anos antes de sua primeira renovação. Anteriormente, a área era ocupada por pecuária extensiva durante décadas, até o último corte no dia 29 de abril de 2015. Conforme a Figura 1, a precipitação pluviométrica total do período estudado foi de 2.175 mm, estando acima da necessidade hídrica da cultura, que é de aproximadamente 1500 mm. Apesar disto, a mesma figura mostra que há uma época com menor precipitação (março a setembro de 2016) e outra com maior precipitação (outubro de 2016 a março de 2017), respectivamente. Esta distribuição de chuvas favoreceu o crescimento e maturação da cana-de-açúcar. Além da precipitação, as temperaturas do ar ao longo do período estudado também foi favorável ao cultivo, predominando temperaturas acima de 25°C durante o máximo crescimento vegetativo (outubro de 2016 a fevereiro de 2017) e abaixo de 20°C durante a maturação (abril de 2017) e a sua distribuição, assim como a temperatura,.

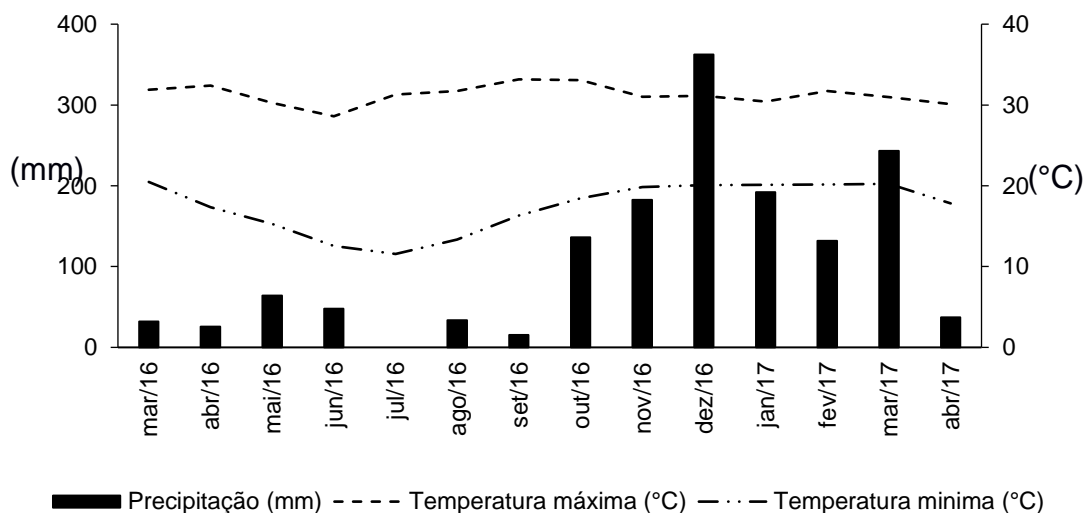


Figura 1. Precipitação pluviométrica, temperatura máxima e temperatura mínima na área experimental (Fazenda Thermotec), durante a condução do experimento entre os meses de março de 2016 a abril de 2017, Aporé-GO.

A caracterização química do solo foi realizada no dia 13 de outubro de 2015 e seguiu adaptação da metodologia de Rein et al. (2015), a partir de uma amostra composta proveniente de 20 amostras simples, coletada previamente à instalação do experimento. Cada amostra simples foi formada a partir da amostragem de 5 pontos, sendo um na linha de plantio e dois em cada entrelinha adjacente à linha até na metade da entrelinha. As amostras foram coletadas nas profundidades: 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm e analisadas em laboratório conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (2009). Com base nos resultados de análise química do solo (Tabela 1), foram realizadas correções e adubações seguindo as recomendações técnicas para a região do Cerrado (SOUZA & LOBATO, 2004). É importante destacar que todo o potássio da palha já havia sido disponibilizado ao solo, visto que, a amostragem do solo para caracterização foi realizada aos 167 dias após a última colheita da cana-soca e, segundo Benedetti (2014), 120 dias após colheita, com boa distribuição de chuvas (411 mm acumulados entre a última colheita e amostragem do solo para caracterização), o potássio do palhicho praticamente retorna em 100% para o solo; Isto ocorre porque as taxas de liberação do potássio para o sistema solo são dependentes das precipitações e não da atividade da biomassa microbiana.

Tabela 1. Caracterização química e física do Neossolo Quartzarênico órtico típico, nas profundidades de 0 a 20; 20 a 40; 40 a 60 e 60 a 80 cm de profundidade, antes da instalação do experimento, Aporé-GO.

Profundidade	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	m	M.O.	Argila	Silte	Areia
		cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	g dm ⁻³	g dm ⁻³	g dm ⁻³
0-20 cm	4,80	1,52	0,54	30,00	1,00	0,9	0,5	85,4	14,3	0,7	3,6	16,50	158	62	780
20-40 cm	4,70	0,86	0,33	20,00	5,30	1,2	0,7	82,6	7,5	0,3	6,1	11,30	158	62	780
40-60 cm	4,50	0,35	0,17	11,00	2,50	6,2	0,6	77,3	5,8	0,1	20,3	10,60	182	63	755
60-80 cm	4,40	0,25	0,13	8,00	0,10	12,1	0,6	56,5	5,8	0,1	27,3	9,70	182	88	730

Extrator KCl 1N para Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al); Extrator Melich-1 para Potássio (K), Fósforo (P), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn); Extrator Acetato de Amônio para Enxofre (S); Extrator Água quente para Boro (B); Extrator Dicromato de Sódio para Matéria Orgânica; Argila, Silte e Areia por dispersão em NaOH.

As ações realizadas na área experimental seguiram a ordem: dessecação da cana da última soca, subsolagem a 45 cm de profundidade, calagem (V₂ = 70%), gessagem, fosfatagem, gradagem pesada a 20 cm de profundidade, nivelamento, sulcação simultânea (15 cm de profundidade) a adubação no fundo de sulco, distribuição de mudas, cobertura do sulco simultânea ao tratamento de tolete (0,2 kg

ha⁻¹ do inseticida fipronil , 0,5 L ha⁻¹ do fungicida Piraclostrobina 250), aplicação de herbicida em pré-emergência total (1,5 L ha⁻¹ de Tebutiuron 500) e adubação em cobertura. Das ações citadas anteriormente, as relacionadas à correção do solo foram: aplicação de 1,37 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 85%), 1,35 t ha⁻¹ de gesso agrícola e 85 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via MAP.

As adubações consistiram de aplicação no fundo do sulco de plantio e em cobertura aos 60 dias após o plantio (DAP), juntamente com a operação quebra lombo. No fundo do sulco foram aplicados 21 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Enquanto a cobertura foi realizada com 60, 2,1 e 1,5 kg ha⁻¹ para N, B e Zn, respectivamente.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por um fatorial 3x5, sendo três modos de aplicação (100% da dose no sulco de plantio, 100% em cobertura aos 60 dias após plantio (DAP) e parcelada 50% no sulco + 50% em cobertura aos 60 DAP) e cinco doses de potássio (0, 60, 110, 160, 200 kg ha⁻¹ de K₂O). Vale destacar que, para o mesmo ambiente de produção deste trabalho, a recomendação de adubação potássica (SOUZA et al., 2004) é 80 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco (parcelamento quando a CTC for inferior a 4 cmol_c dm⁻³), porém, as doses aplicadas em áreas comerciais são superiores a 140 kg ha⁻¹ de K₂O, sem parcelamento (independentemente da CTC). As parcelas foram constituídas por 5 linhas de 10 metros, com espaçamento de 1,5 m, totalizando 75 m². As avaliações foram realizadas nas três linhas centrais, o que totaliza 45 m² de área útil.

A cultivar usada foi a RB92579, que se destaca como a terceira mais cultivada e segunda que mais cresceu em percentual cultivado nas últimas 5 safras na região Centro-Sul. No estado de Goiás, é a quarta cultivar mais cultivada, no plantio 2017/2018 (BRAGA JÚNIOR et. al., 2018). Este material é caracterizado pela alta responsividade em rendimento agroindustrial em peso de colmos, podendo chegar a 260 t ha⁻¹, recorde mundial em área agrícola comercial (RIDESA, 2010).

As análises biométricas realizadas foram: uma primeira contagem de perfilhos por metro aos 90 DAP e outra no momento da colheita aos 420 DAP; Complementando a biometria, também se avaliou a altura e diâmetro das plantas no momento da colheita; Estas análises biométricas foram realizadas nas três linhas centrais da parcela para exclusão do efeito de bordadura. As análises tecnológicas correspondem às análises de qualidade da matéria-prima; Estas foram obtidas

através da sub-amostra coletada a partir do desfibramento em forrageira de uma amostra de 10 canas de cada parcela e levadas ao laboratório especializado para análise de ATR (Açúcares Totais Recuperáveis), AR (Açúcares Redutores) e pureza, seguindo a metodologia CONSECANA (2006).

Para avaliação do estado nutricional, coletou-se 10 folhas + 1 (primeira aurícula visível, de cima para baixo) por parcela aos 270 DAP que correspondeu ao período de maior desenvolvimento vegetativo, conforme metodologia de Raij et al. (1996). Os parâmetros analisados nas folhas foram os teores de potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn).

A produtividade em toneladas de colmo de cana por hectare (TCH) foi obtida através da pesagem (com dinamômetro analógico de ponteiro) de colmos presentes em cada parcela aos 420 DAP (divisão entre o peso de colmos em toneladas e a área ocupada pelos mesmos colmos). Já a produtividade em toneladas de açúcar por hectare (TAH) é obtida a partir da multiplicação entre o teor de açúcares totais recuperáveis (ATR) e o TCH e multiplicando o valor do produto por mil (1000). Para a obtenção do acúmulo do potássio na planta, analisou-se o conteúdo no colmo e no ponteiro (folha e palmito). Para amostragem do colmo, foi coletada uma segunda sub-amostra da mesma amostra de 10 canas desfibradas e homogeneizada utilizadas para análise tecnológica. As amostras de ponteiros foram obtidas deste mesmo feixe de 10 canas, coletando-se 3 ponteiros delimitados pelo seu ponto de quebra em relação ao colmo. As amostras foram secas em estufa a 65°C por 72 horas.

Além das variáveis agroindustriais, avaliou-se a eficiência da aplicação do fertilizante potássico a partir dos índices: fator de produtividade parcial (FPP) e balanço parcial do nutriente (BPN). O FPP indica quantos quilogramas a cana-de-açúcar produziu por quilograma de fertilizantes aplicado, através da divisão da produtividade (TCH) pela dose de fertilizante aplicada (kg ha^{-1}), enquanto o BPN relaciona a exportação de nutriente às doses de fertilizante aplicadas, indicando o quanto a planta exportou por unidade de fertilizante (dividindo-se o total de nutriente exportado pela dose de fertilizante, ambos em kg ha^{-1}).

Para caracterização dos teores de potássio no solo nas profundidades de 0 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm, após a colheita da cana-planta, amostrou-se três pontos dentro de cada parcela a 0,10 m da linha de cultivo. As amostras para este fim foram

compostas, ou seja, proveniente da mistura de amostras simples das repetições de cada tratamento. A apresentação dos mesmos foi apenas para caracterizar o comportamento ao longo do perfil, ou seja, sem análise estatística.

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. Os efeitos isolados dos fatores e interações foram estudados usando o teste de Tukey para modos de aplicação e regressão polinomiais para doses de potássio com 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modos de aplicação e interação entre modos de aplicação e doses não foram significativos pelo teste F a 5% de probabilidade, de modo que os resultados apresentados são dos efeitos significativos de doses e caracterização final do solo. De acordo com a figura 2, as doses de potássio promoveram acréscimos lineares a 1% de significância, nas variáveis: diâmetro de colmo, toneladas de colmo por hectare (TCH), toneladas de açúcar por hectare (TAH), acúmulo de potássio no colmo e acúmulo de potássio no colmo + ponteiro, independentemente do modo de aplicação. Assim, onde não houve aplicação de potássio, os valores de TCH e TAH foram 170 toneladas de cana por hectare e 21,5 toneladas de açúcar por hectare, de modo que cada quilograma de K_2O promove incremento de 54,9 kg de colmos por hectare e 10,7 kg de açúcar por hectare. Destaca-se nas figuras 2A e 2B, que houve menor TCH na dose 60 kg ha^{-1} em relação à testemunha, porém, como houve maior diâmetro, é possível que tenha ocorrido uma compensação de falhas a partir do incremento deste parâmetro biométrico. Nas figuras 2B e 2C, destaca-se a alta produtividade da cana na testemunha, o qual apresentou teores baixos de potássio nas diferentes profundidades amostradas antes da instalação do experimento (Tabela 1). Este resultado pode ser atribuído ao clima, ao potencial genético da cultivar e às práticas agronômicas (micronutrientes, fosfatagem, gessagem e calagem) que, associadas, favoreceram o crescimento radicular e exploração do nutriente em profundidade, além da boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do período experimental (Figura 1).

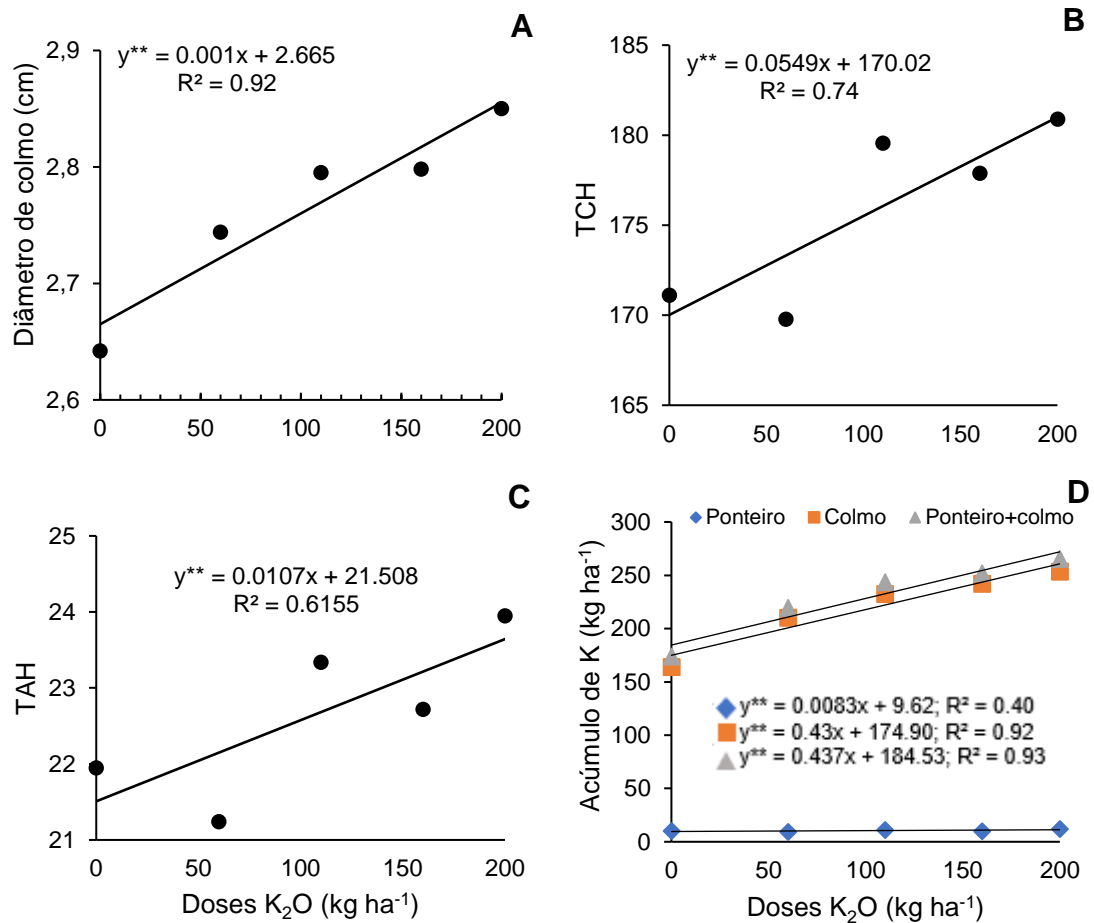


Figura 2: Diâmetro do colmo (A), tonelada de colmos por hectare (TCH) (B), tonelada de açúcar por hectare (TAH) (C) e acúmulo de K no ponteiro e colmo (D) em função de doses de K_2O , independentemente do modo de aplicação, na RB92579 cultivada em Neossolo Quartzarênico órtico típico, Aporé-GO. ** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

De acordo com a figura 3, os resultados da avaliação do estado nutricional da planta aos 270 DAP demonstram que, apenas para os teores de potássio na folha, houve efeito significativo para doses de potássio e que, com exceção do B e Mn, os demais nutrientes estavam com teores adequados, de acordo com Raij et al. (1996). Assim, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe e Zn, apresentaram teores médios dentro da faixa de suficiência, enquanto o B e o Mn apresentaram teores médios abaixo das faixas adequadas. Apesar de a lei do mínimo mostrar que a produtividade da cultura é limitada pelo nutriente em baixa disponibilidade (B e Mn), o rendimento agroindustrial obtido foi consideravelmente acima da média de áreas comerciais no mesmo ambiente de produção.

As médias obtidas para os macronutrientes foliares N, P, Ca, Mg e S foram: 20,52, 1,76, 2,8, 1,36, 1,50 g kg⁻¹, respectivamente, e para os micronutrientes foliares B, Cu, Fe, Mn e Zn, foram: 4,09, 6,39, 62,66, 22,35 e 19,90 mg kg⁻¹, respectivamente.

A resposta do potássio foliar na figura 3A foi ajustada por um polinômio quadrático cuja primeira derivada permitiu encontrar 11,83 g kg⁻¹ como o máximo teor foliar de potássio obtido a partir de uma dose de 160,71 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3 A).

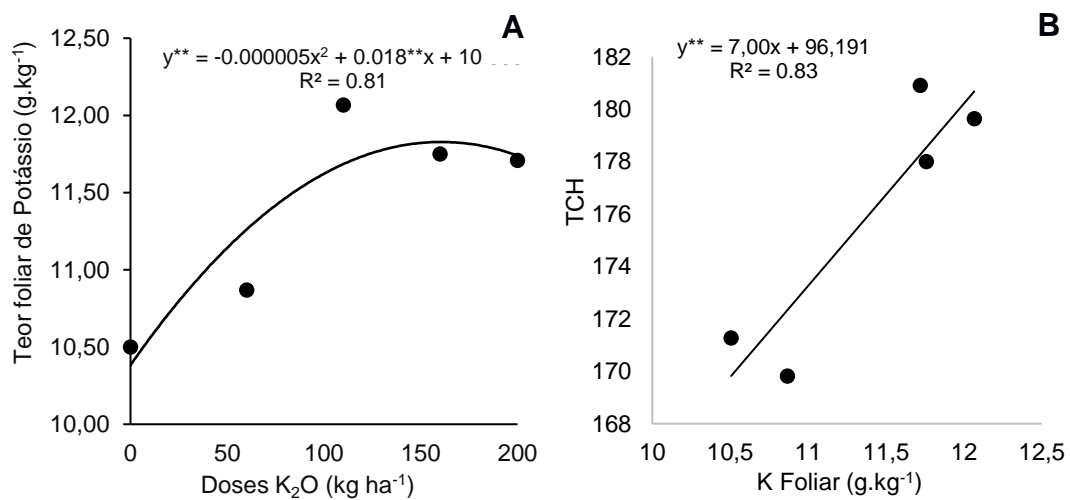


Figura 3: Teor foliar de potássio na folha coletada aos 270 dias após o plantio (A) em função de doses de K₂O, e produtividade agrícola em toneladas de cana por hectare (TCH) relacionada com o teor foliar de potássio (B). Cultivar RB92579, cultivada em um Neossolo Quartzarênico em Aporé-GO.

** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

De acordo com Raij et al., (1996), a faixa adequada de potássio foliar é de 10 a 16 mg dm⁻³, desta forma, apesar da resposta quadrática da figura 3A, os teores de potássio na folha foram adequados em todas as doses do estudo, pois variaram entre 10,4 e 11,7 mg dm⁻³. E, conforme mostrado na figura 3B, mesmo os níveis de potássio na folha estando adequados em todas as doses, houve resposta linear em produtividade agrícola (TCH) quando relacionada aos teores de potássio foliar, mostrando que não houve consumo de luxo nas doses estudadas.

Apesar das respostas lineares crescentes de produtividade agrícola, a figura 4A mostra que o aumento de doses gerou uma menor conversão do fertilizante

aplicado em quantidade de produto colhido, visto que o fator parcial de produtividade (FPP) foi decrescente. Também com resposta decrescente (figura 4B), o balanço parcial de nutrientes (BPN) demonstra que o aumento das doses resulta na tendência ao excesso de potássio no solo, pois, como o BPN representa a relação entre a quantidade de nutriente exportada e a quantidade de fertilizante aplicada, a curva decrescente indica que quanto maior a dose, menor a exportação, logo, o potássio aplicado tende a ser acumulado no solo e encontrar-se passível de lixiviação/percolação.

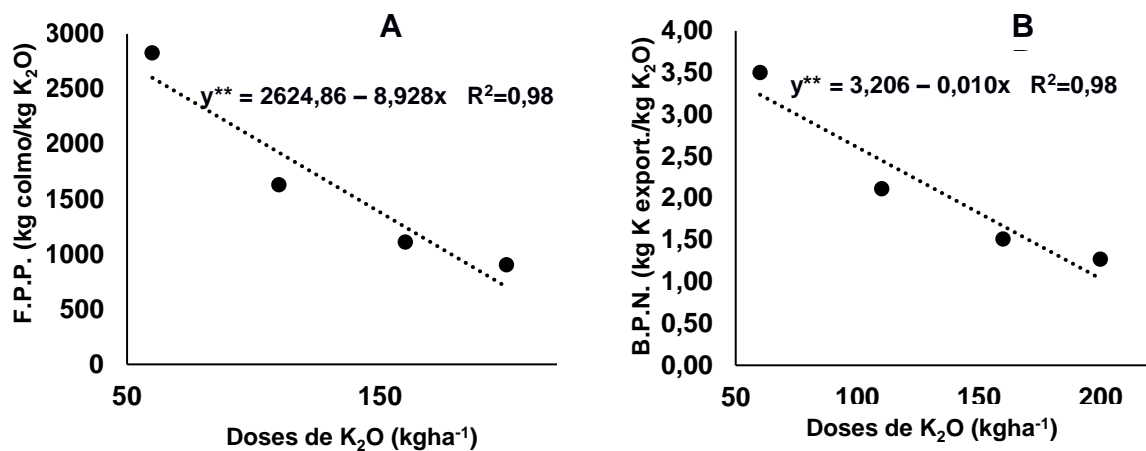


Figura 4: Fator Produtividade Parcial (FPP) (A) e Balanço Parcial de Nutrientes (BPN) (B) em função de doses de potássio aplicadas na cana-planta, cultivada num Neossolo Quartzarênico órtico típico, independente dos modos de aplicação, em Aporé-GO.

Na figura 5 são apresentados os teores de potássio no solo após a colheita da cana-planta em diferentes profundidades. Mostra-se que provavelmente não houve lixiviação de potássio, pois a soma dos níveis de potássio das duas camadas sub-superficiais foi inferior aos teores de potássio na camada superficial, para os tratamentos.

Tabela 2. Teores de potássio em profundidade em função de doses para os modos de aplicação: Fundação (A), Cobertura (B) e Parcelado (C) em cana-planta cultivada em Neossolo Quartzarênico órtico típico, Aporé-GO.

Prof. (cm)	Cobertura					Sulco					Parcelado				
	0	60	110	160	200	0	60	110	160	200	0	60	110	160	200
	Teores de potássio (mg dm⁻³)														
0-20	19.50	19.50	15.60	23.40	15.60	15.60	19.50	19.50	15.60	27.30	15.60	15.60	15.60	19.50	15.60
20-40	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	11.70	7.80	11.70	7.80	7.80	11.70	7.80	7.80
40-60	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	7.80	3.90	3.90	11.70	7.80

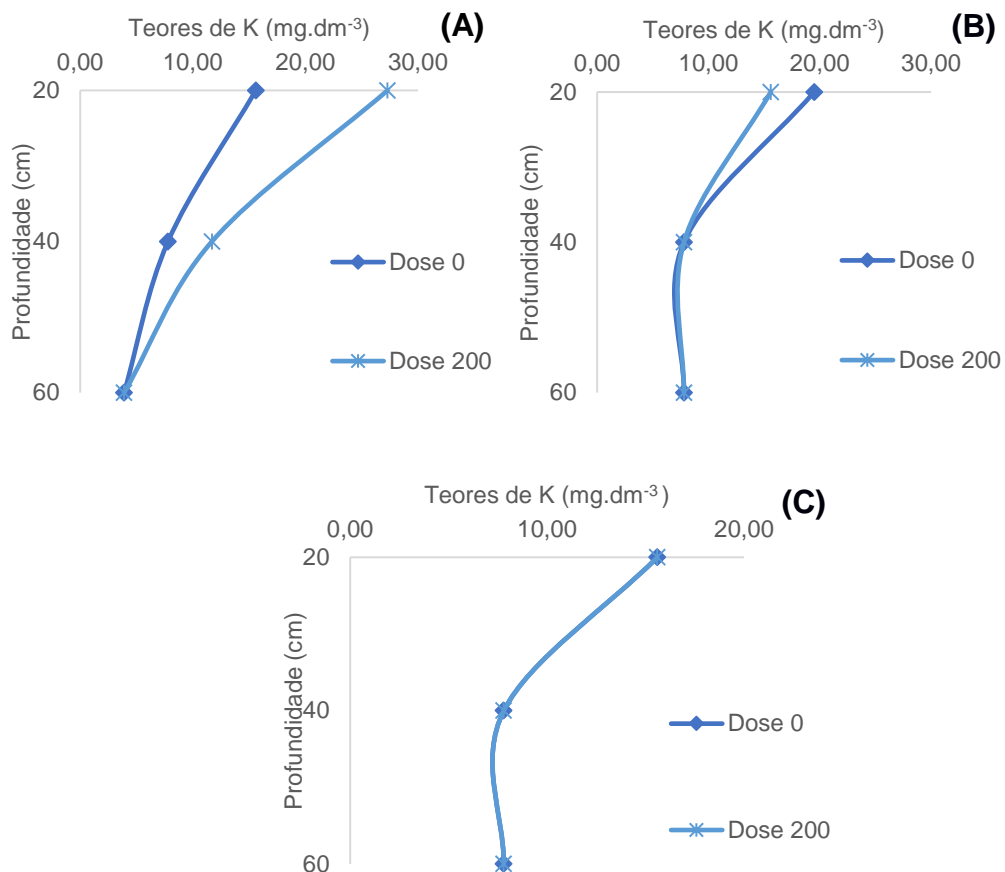


Figura 5. Teores de potássio em profundidade em função das doses extremas (0 e 200 kg ha⁻¹) para os modos de aplicação: Fundação (A), Cobertura (B) e Parcelado (C) em cana-planta cultivada em Neossolo Quartzarênico órtico típico, Aporé-GO.

Nota-se que o teor de potássio na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo, na aplicação no sulco e na dose de 200 kg ha⁻¹ de K₂O, foi 27,3 mg dm⁻³, mostrando-se superior à aplicação em cobertura e parcelada, as quais apresentaram

o mesmo valor de $15,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de K, valor praticamente igual à testemunha.

Os teores de potássio nas camadas subsuperficiais (20 a 40 e 40 a 60 cm) para aplicação em cobertura e parcelada foram todos iguais a $7,8 \text{ mg dm}^{-3}$, para as doses extremas (0 e 200 kg ha^{-1} de K_2O). Enquanto a aplicação no sulco apresentou diferenças irrelevantes nos teores de potássio nas duas camadas subsuperficiais. Além disso, as análises de potássio trocável em todos os modos de aplicação, doses e profundidades apresentam valores abaixo dos obtidos na caracterização inicial, confirmando que não houve lixiviação de potássio.

Outro fato para reforçar que provavelmente não houve lixiviação é o de que os teores de potássio trocável após colheita são inferiores aos teores verificados na caracterização do solo (Tabela 1), mostrando que o acúmulo de potássio na parte aérea (Tabela 2) foi superior à quantidade aplicada.

Estes resultados podem ser atribuídos ao período de plantio da cana no mês de março no sudoeste goiano, quando há redução da pluviosidade. Porém, resultados diferentes podem ocorrer sob diferentes condições climáticas. Isto pode levar a conclusões distintas, assim como Lana et al. (2004) que trabalharam com doses e modos de aplicação de potássio (no sulco e parcelamento) em solo arenoso do estado de São Paulo, com plantio no mês de abril. Estes mesmos autores observaram que a produtividade da cultura, quando as doses de potássio forem aplicadas no sulco, foi inferior do que quando houve parcelamento, atribuindo este problema à lixiviação do potássio quando aplicado totalmente no sulco.

Por outro lado, Otto et al. (2010), também estudando doses e modos de aplicação de potássio em cana-planta (plantio no mês de março) sob solo arenoso, no estado de São Paulo, obtiveram resultados concordantes a este trabalho, quando os mesmos não verificaram diferença entre os modos de aplicação na produtividade agrícola. Apesar disso, os autores não descartam a possibilidade de lixiviação, citando que a absorção de potássio é maior quando há parcelamento em função da maior concentração de raízes superficiais aos 6 meses após plantio. E, os mesmos autores mostram que a dose de 150 kg ha^{-1} de K no sulco, mesmo havendo lixiviação, mantém níveis adequados do nutriente no solo, resultando em produtividade semelhante quando a mesma dose foi parcelada, concordando com os resultados aqui apresentados em relação aos modos de aplicação.

Ambos os trabalhos citados acima, foram realizados em solos com baixos teores de bases, fósforo e matéria orgânica e, por isso, apresentam necessidade de

calagem, gessagem e fosfatagem. Um detalhe a ser levado em consideração são as ações de manejo previamente realizadas nos campos experimentais, pois, os trabalhos onde não houve lixiviação de potássio, realizaram as correções de solo necessárias. Desta forma, pode-se inferir que, além da pluviometria, o manejo do solo associado ao potencial genético da cultivar e ausência de impedimento físico no solo, pode promover maior desenvolvimento radicular. Isto possivelmente minimizou as perdas por lixiviação, mesmo em doses altas de potássio totalmente aplicadas no fundo do sulco em solos arenosos. A época de plantio é importante porque poderá haver maior lixiviação de potássio quando ocorrem precipitações mais frequentes (horas de chuva por dia) e intensas (milímetros de chuva por hora), principalmente em solos arenosos. Além disso, as ações de manejo, como calagem, gessagem e fosfatagem, contribuem para uma maior velocidade de crescimento do sistema radicular. Assim, mesmo que haja lixiviação, um rápido desenvolvimento radicular poderá promover a recuperação deste potássio em camadas subsuperficiais, conforme sugere Rosseto et al. (2008).

Em relação às variáveis tecnológicas, a figura 6 revela que as respostas influenciaram significativamente, a 1% de probabilidade pelo teste F, a maturação da cana-de-açúcar. Assim, os indicadores de qualidade de matéria-prima: Pureza e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) responderam de modo linear crescente às doses de potássio, enquanto para os Açúcares Redutores (AR) houve resposta linear decrescente. Não houve resposta aos modos de aplicação isolados e nem interação entre modos e doses para os parâmetros de qualidade.

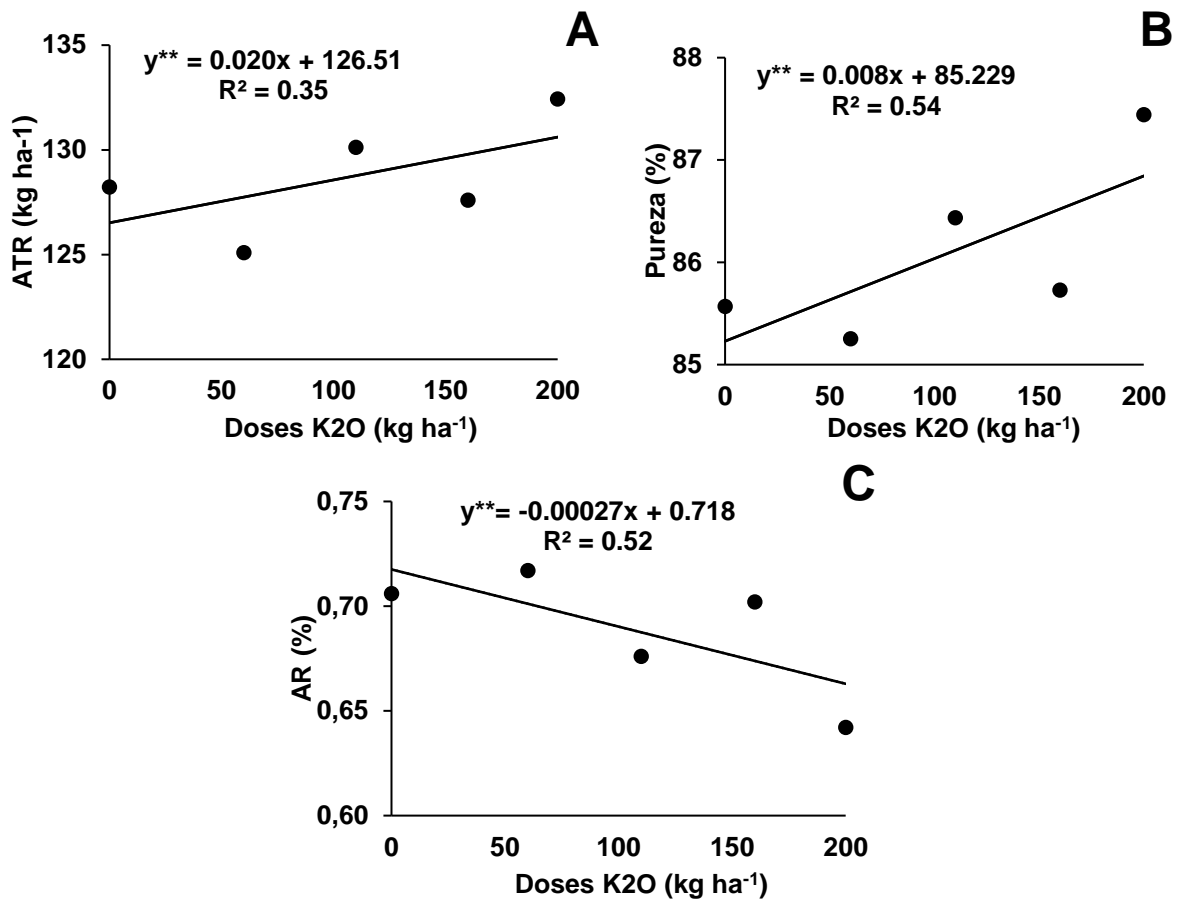


Figura 6: Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) em kg ha^{-1} (A), porcentagem de pureza da cana (B) e porcentagem de açúcares redutores (AR) (C) em função de doses de potássio em cana-planta cultivada em Neossolo Quartzarênico órtico típico, Aporé-GO. ** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Estes resultados confirmam os obtidos por Otto et al. (2010), no qual, as doses de potássio também promoveram efeito positivo sobre a maturação, com respostas lineares crescentes do ATR e Pureza e resposta linear decrescente de AR. Estas respostas ocorrem porque o AR corresponde aos açúcares redutores (glicose e frutose) que a partir de reações metabólicas com atuação essencial do potássio, transforma-se em sacarose, que corresponde aos Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), elevando, assim, a pureza do caldo (redução de substâncias diferentes da sacarose).

Estes resultados refletem a função do potássio no metabolismo da planta para formação, translocação e acúmulo de sacarose no colmo (ROSSETO et al., 2008). O incremento no teor de açúcares em função de doses de potássio também foi obtido em casa de vegetação por Silveira et al. (1991). Os autores atribuíram o resultado à

maior transferência de açúcares da folha para o colmo e a outras funções metabólicas do potássio, como redução da atividade da invertase (enzima que transforma sacarose em frutose e glicose) e aumento da taxa fotossintética.

A quantidade de açúcar por hectare (TAH) apresentada na figura 1 é calculada a partir da multiplicação entre a quantidade de colmos em toneladas por hectare (TCH contido na figura 1) e o ATR. Resultados semelhantes a este foram obtidos por Otto et al. (2010), quando verificaram resposta favorável do TAH a doses de potássio.

Apesar dos baixos teores de potássio encontrados inicialmente em um Neossolo Quartzarênico órtico típico do sudoeste goiano, as respostas da cana-planta foram indiferentes aos modos de aplicação e pouco acentuadas em função do aumento das doses de potássio. Possivelmente, a distribuição da precipitação ao longo do período experimental (Figura 1), possibilitou maior sincronismo da exigência/desenvolvimento da cana com a disponibilidade de potássio nos tratamentos estipulados neste estudo. Observação está fundamentada nas médias de produtividade, acúmulos de potássio pela cultura e teores de potássio no solo em diferentes profundidades.

Enfim, além incremento de produtividade e parâmetros de desenvolvimento e maturação entre a testemunha e a maior dose, é importante analisar a relação custo-benefício da adubação potássica. Os dados utilizados neste cálculo são: o preço da tonelada de cloreto de potássio e o preço por saco de 50 kg de açúcar, respectivamente, R\$1.800,00 (aproximação de preço de mercado em 2019) e R\$ 62,98 (média Esalq/BVMF – Santos, entre 30/04/2018 e 30/04/2019). Como o incremento em TAH na dose 200 kg ha⁻¹ foi de 2,14 toneladas de açúcar por hectare (42,8 sacas de açúcar), o benefício foi de R\$ 2.695,95 por hectare. Assim, como o custo da mesma dose foi R\$ 360 por hectare, a relação benefício-custo foi de 7,48; Isto significa que houve ganho de R\$7,48 para cada R\$1,00 investido na adubação potássica da cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram obtidos por Otto et al. (2010), quando os mesmos obtiveram incremento de 3 toneladas de açúcar por hectare. Desta forma, a aplicação de potássio em cana-planta mostra-se lucrativa ao produtor canavieiro

5. CONCLUSÕES

- As doses crescentes de potássio elevam significativamente a produtividade agroindustrial e melhoraram a maturação da cana-planta em solo arenoso do sudoeste goiano.
- O modo de aplicação do potássio não interfere nas variáveis biométricas e tecnológicas da cana-planta cultivada em Neossolo Quartzarênico do sudoeste goiano.

6. IMPLICAÇÕES

Em novos estudos dois aspectos devem ser levados em consideração: a dinâmica do potássio em profundidades de até 2 metros e a dinâmica deste elemento ao longo do ciclo da cana-de-açúcar. Além disso, estes dois aspectos devem ser estudados em associação ao desenvolvimento radicular ao longo do tempo, medindo-se seu volume e profundidade de exploração.

Quanto à dinâmica do potássio em profundidade, destaca-se que, neste trabalho, os teores de potássio nas camadas analisadas não foram diferentes; Isto leva-nos a afirmar que até a camada de 60 cm o sistema radicular pode ter evitado a lixiviação, porém, tanto os teores de potássio em camadas mais profundas, quanto o desenvolvimento das raízes devem ser avaliadas para que estas suposições sejam conclusivas.

Diante do exposto, o estudo do potássio no solo e a influência deste elemento na cultura da cana-de-açúcar deve-se levar em consideração fatores climáticos, fatores genéticos de cultivares e ações de manejo que influenciam o desenvolvimento radicular e eficiência deste elemento no sistema de produção canavieiro.

7. REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C., GUIDOLIN, J. A., LOPES, A. S. Adubos e a eficiência das adubações. 3ª Ed. São Paulo, ANDA, 1998. 35 p.

ALFONSI, R. R., PEDRO JÚNIOR, M. J., BRUNINI, O., BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar in: PARANHOS, S. B. (ed.). Cana-de-açúcar cultivo e utilização. Fundação Cargill, p. 42 – 55, 1987.

AMARAL, A. J. et al. Potássio trocável em Neossolo Quartzarênico sob cultivo irrigado de manga, em Petrolina-PE. In: Seminário Baiano de Solos, 3., 2014, Ilhéus, Anais... 2014. p. 1-3.

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Principais indicadores do setor de fertilizantes, 2019. Disponível em: <http://anda.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Principais_Indicadores_2019-2.pdf>. Acesso em 23 maio 2018.

BENEDETTI, M. M. Palhada de cana-de-açúcar em condição de cerrado: decomposição e disponibilidade de nutrientes. 2014. 79 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BITTENCOURT, G. M.; GOMES, M. F. M. Fontes de crescimento da produção de cana-de-açúcar no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil REDES, Santa Cruz do Sul, v.19, n.2, p. 181–201, 2014.

BRITO, O. R.; TELLES, T. S.; SCHNITZER, J. A.; GASPAR, G. G.; GUIMARÃES, M. D. F. The influence of crop residues in vertical soil mobility of potassium. Ciências Agrárias, v. 35, n. 6, p. 3043–3052.

CARNEIRO, M. A. C., C.; SOUZA, E. D. DE; FIALHO, E.; PEREIRA, H. S. Solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 33, p. 147–157, 2009.

CASTRO, C. N. A agropecuária na região Centro-Oeste: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros. Brasília: Ipea , 2014 (Texto para discussão, n. 1923).

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana de Açúcar

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.

DINIZ, S. F.; BASTOS, F. O. M.; LIMA, R. H. C.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Fontes de potássio não trocável e potássio total em quatro solos do Estado do Ceará. *Geociências*, v. 26, n. 4, p. 379-386, 2007.

DONAGEMMA, G. K. et al. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 51, n.9, p. 1003–1020, 2016.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. (2013). Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, v. 43, n. 2, p. 195–200, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

ERNANI, P. R., BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cations influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, v. 31, n. 2, p. 393–402, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FREITAS, L., CASAGRANDE, J.C., OLIVEIRA, I. A., MORETI, T.C.F., CARMO, D. A. B. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *Enciclopédia Biosfera*, n. 1, p. 362–374, 2013.

LANA, R.M.Q. et al. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. *Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 23, n. 2, p. 28-31, 2004.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.2, p. 232–239, 2013.

NASCIMENTO, M., LOUREIRO, F. E. L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66 p.

OLIVEIRA, E. C. A. Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção. 2008. 73 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

OTTO, R., VITTI, G. C.; CERQUEIRA LUZ, P. H. Potassium fertilizer management for sugar cane. Revista Brasileira De Ciência do Solo, v. 34, n. 4, p. 1137-1145, 2010.

PASQUALETO, A., ZITO, R. K. Impactos ambientais da monocultura da cana-de-açúcar. 1ª ed. Goiânia: Editora da UFG, 2000. 82 p.

PRADO, H.. Pedologia fácil: aplicações em solos em solos tropicais. 5ª ed. Piracicaba: Autor, 2016. 271 p.

PENATTI, C. P. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. 1ª ed. Ituiutaba: Ottoni Editora, 2013. 347 p.

REIN, T. A., SOUSA, D. M. G., SANTOS JUNIOR, J. D. G., NUNES, R. S., KORNDÖRFER, G. H. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2015. 12 p.

ROSSETO, R., DIAS, F. L. F., VITTI, A. C., TAVARES, S. Potássio in: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELOS, A. C. M. de, LANDELL, M. G. de A. (eds.). Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônomo, p. 289 - 312, 2008.

SANTOS, D. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: IAPAR, Londrina, PR. Recomendações técnicas para a cultura da cana-de-açúcar no Paraná. Londrina, IAPAR, 1977. p. 8 – 22 (IAPAR. Circular 6).

SHIKIDA, A. F. P. Expansão canavieira no Centro-Oeste. Revista de Política Agrícola, v. 2, p. 122–137, 2013.

SILVEIRA, J. A. G., CROCOMO, O. J. Efeitos de nitrogênio e potássio na utilização de nitrato e distribuição de carboidratos em cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 26, n. 2, p. 247 - 257, 1991.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. Solos areno-quartzosos do Cerrado: características, problemas e limitações ao uso. Planaltina: Embrapa CPAC, 1999. 48p.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC; 1996. (Boletim Técnico, 100).

WISSMANN, M. A.; OYAMADA, G. C.; WESENDONCK, C. C.; SHIKIDA, P. F. A. Evolução do cultivo da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste do Brasil. Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional, v. 2, n. 1, p. 095, 2014.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 32, n. 6, p. 2297–2305, 2009.

ANEXO

Tabela 1A. Médias dos parâmetros biométricos em função de modos de aplicação e doses de K₂O: Altura aos 420 DAP (A), Diâmetro aos 420 DAP (D), Perfilhamento aos 420 DAP (P2), Perfilhamento aos 90 DAP (P1), Morte de perfilho aos 420 DAP (M), Falhas de plantio (FP).

Modo de aplicação	Dose (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)	A (m) ^(ns)	D (cm)**	P2 (canas/m) ^(ns)	P1 (canas/m) ^(ns)	M (canas/m) ^(ns)	FP (%) ^(ns)
Cobertura	0	3.24	2.55	12.26	18.17	5.91	1.1%
	60	3.41	2.69	11.29	14.58	3.29	2.5%
	110	3.28	2.80	12.27	18.71	6.44	0.8%
	160	3.41	2.87	11.51	17.46	6.06	2.5%
	200	3.32	2.85	11.81	17.29	5.48	3.1%
Sulco	0	3.36	2.69	11.63	16.08	4.45	2.8%
	60	3.31	2.75	11.21	16.38	5.16	1.7%
	110	3.41	2.75	11.63	18.25	6.62	1.4%
	160	3.46	2.75	11.48	17.79	6.31	0.3%
	200	3.46	2.78	11.43	18.79	7.36	1.1%
Parcelado	0	3.23	2.69	12.10	15.92	3.82	1.1%
	60	3.41	2.79	11.89	18.08	6.19	2.2%
	110	3.38	2.84	11.27	15.17	3.90	1.9%
	160	3.36	2.78	11.54	19.38	7.83	0.3%
	200	3.50	2.92	11.69	14.88	3.19	2.2%

ns = não significativo (teste F para doses, modos de aplicação e interação); **significativo a 1% (teste F apenas para doses, pois não houve efeito de modos de aplicação e interação entre doses e modos de aplicação).

Tabela 2A. Médias das variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar em função de modos de aplicação e doses de K₂O: Brix, Pol (pol do caldo), Pureza (PZ), Fibra, pol por cento de cana (PCC), açúcares totais recuperáveis (ATR), açúcares redutores (AR), umidade (U).

Modo de aplicação	Dose (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)	BRIX (°) (ns)	Pol (%) (ns)	PZ (%) **	Fibra (%) (ns)	PCC (%) (ns)	ATR (kg t ⁻¹) (ns)	AR (%) (ns)	U (%) (ns)
Cobertura	0	17.67	15.19	85.93	10.74	13.14	130.64	0.69	71.58
	60	16.71	14.17	84.65	10.39	12.33	123.25	0.74	72.89
	110	17.83	15.59	87.45	10.80	13.48	133.46	0.64	71.37
	160	17.25	14.73	85.35	10.44	12.81	127.64	0.71	72.31
	200	17.62	15.39	87.31	10.77	13.31	131.83	0.65	71.61
Sulco	0	17.06	14.58	85.47	10.71	12.62	125.86	0.71	72.22
	60	16.85	14.37	85.25	10.72	12.44	124.15	0.72	72.43
	110	17.31	14.89	85.98	10.47	12.94	128.73	0.69	72.21
	160	17.43	15.03	86.23	10.62	13.04	129.59	0.69	71.95
	200	17.63	15.39	87.28	10.73	13.32	131.96	0.65	71.64
Parcelado	0	17.42	14.86	85.31	10.54	12.87	128.15	0.71	72.03
	60	17.24	14.80	85.86	10.57	12.85	127.84	0.70	72.19
	110	17.29	14.85	85.88	10.58	12.88	128.18	0.70	72.14
	160	16.98	14.54	85.60	10.67	12.60	125.55	0.71	72.35
	200	17.84	15.65	87.74	10.91	13.51	133.49	0.63	71.26

ns = não significativo (teste F para doses, modos de aplicação e interação); **significativo a 1% (teste F apenas para doses, pois não houve efeito de modos de aplicação e interação entre doses e modos de aplicação).

Tabela 3A. Médias de produtividade agroindustrial em função de modos de aplicação e doses de K₂O: toneladas de colmos por hectare (TCH) e toneladas de açúcar por hectare (TAH)

Modo de aplicação	Dose (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)	TCH**	TAH**
Cobertura	0	171.68	22.43
	60	170.94	21.08
	110	174.64	23.33
	160	174.64	22.29
	200	181.30	23.88
Sulco	0	173.16	21.81
	60	170.94	21.25
	110	187.96	24.20
	160	176.86	22.95
	200	176.12	23.27
Parcelado	0	168.72	21.61
	60	167.24	21.39
	110	175.38	22.49
	160	182.04	22.92
	200	185.00	24.70

**significativo a 1% (teste F apenas para doses, pois não houve efeito de modos de aplicação e interação entre doses e modos de aplicação).