UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR

EDUARDO PARRA MARQUES

Orientador: **Prof. Dr. Leonardo Santos Collier**

Coorientador: **Prof. Dr. Rilner Alves Flores**

Fevereiro - 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DETESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) adisponibilizar, 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 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a titulo de divulgação da produção cientifica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[x] Dissertação [ ] Tese

2. Nome completo do autor

Eduardo Parra Marques

3. Título do trabalho

Fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [ ] NÃO[1]

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, apossível disponibilização ocorrerá apenas mediante:
a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:
- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista cientifica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Santos Collier**, **Professor do Magistério Superior**,em 27/02/2021, às 17:29, 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 **EDUARDO PARRA MARQUES**, **Discente**, em 08/03/2021, às 17:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0,informando o código verificador **1872558** e o código CRC **6256B8E6**.

Referência: Processo nº 23070.007996/2021-99

SEI nº 1872558

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Eduardo Parra Marques
Orientador: Prof. Leonardo Santos Collier
Coorientador: Prof. Rilner Alves Flores

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Área de concentração: Solo e Água

Goiânia
2021

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

Marques, Eduardo Parra
Fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar[manuscrito] / Eduardo Parra Marques. - 2021.
LXXIII, 73 f.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Santos Collier; co-orientador Dr. Rilner Alves Flores.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2021.
Bibliografia.
Inclui gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Vinhaça. 2. Pó de rocha. 3. Polissulfato. 4. Teor de K no solo. I.Collier, Leonardo Santos, orient. II. Título.

CDU 631/635

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁSESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata Nº 40/2021 da sessão de Defesa de Dissertação de **Eduardo Parra Marques** que confere o titulo deMestre em Agronomia, na área de concentração em Solo e Água.

Aos 24/02/2021, vinte e quatro dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, a partir das 13:30, treze horas e trinta minutos, por videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **"**Fontes alternativas de potássio na cana-de-açúcar". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador e Presidente da Banca Examinadora, **Prof. Leonardo Santos Collier (EA/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Prof. Wilson Mozena Leandro (EA/UFG)**, membro titular interno; **Prof. Gustavo Caione (UNEMAT)**, membro titular externo. Durante a arguição, os membros da banca fizeram sugestão de alteração do titulo do trabalho, conforme explicitado abaixo. Após a arguição,a Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação tendo sidoo candidato **APROVADO** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, **Prof. Leonardo Santos Collier**, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos 24/02/2021, vinte e quatro dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

"Fontes alternativas de potássio para soqueira
da cana-de-açúcar"

Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Santos Collier**, **Professor do Magistério Superior**,em 27/02/2021, às 17:30, 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 **Wilson Mozena Leandro**, **Professor do Magistério Superior**,em 01/03/2021, às 22:10, 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&id_orgao_acesso_externo=0,informando o código verificador **1872499** e o código CRC **EF1B2849**.

Referência: Processo nº 23070.007996/202199 SEI nº 18724

A minha esposa, Fulviene Gomes Ribeiro Marques, por todo amor, compreensão e incentivo para atingir meus objetivos.

Dedico

Ao meu filho, João Pedro Ribeiro Marques, pela paciência e compreensão pela ausência, razão da superação no dia a dia.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus pela preciosidade da vida, por sempre me dar forças, sabedoria, discernimento e coragem em minhas decisões. Por me permitir realizar mais um sonho, me capacitando mais do que mereço.

A minha esposa e filhos, por incentivar, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros, sem a atenção devida e depois de tantos momentos de lazer perdidos.

Aos meus pais, Sebastião e Jacqueline, pelo dom da vida e apoio em tudo.

Ao Prof. Dr. Leonardo Santos Collier pela orientação, ensinamentos, confiança, e, sobretudo, pelo exemplo de dedicação à pesquisa.

À Universidade Federal de Goiás, em especial à Escola de Agronomia, pela oportunidade de realização do Mestrado.

Ao Prof. Dr. Rilner Alves Flores pela coorientação.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solo e Água da Escola de Agronomia - UFG, pelos ensinamentos transmitidos.

A usina Goiasa, em nome do Guilherme Capobianco Porto, que incentivou, apoiou e não mediu esforços para que o objetivo fosse alcançado.

A todos os colaboradores da usina que ajudaram nas atividades de campo e partilharam deste sonho.

Aos amigos e colegas do curso de Pós-Graduação, agradeço muito pelas dicas, partilhas e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Por fim a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS 10

LISTA DE FIGURAS 13

RESUMO 14

ABSTRACT 15

1 INTRODUÇÃO 16

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18

2.1 REPRESENTATIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL 18

2.2 MANEJO DO POTÁSSIO E SEU BALANÇO NO SISTEMA SOLO-PLANTA 20

2.3 USO DE FERTILIZANTE POTÁSSICO NA AGRICULTURA 22

2.4 CANA ORGÂNICA 23

2.5 A VINHAÇA COMO FONTE DE NUTRIENTES 24

2.6 KCl, O FERTILIZANTE MAIS USADO NO MUNDO 25

2.7 PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES NA AGRICULTURA 25

2.8 POLISSULFATO, UMA FONTE SOLUVEL ALTERNATIVA DE POTÁSSIO 29

3 MATERIAL E MÉTODOS 31

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ANALISADOS 32
3.3 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 34
3.4 AVALIAÇOES DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO 35
3.5 AMOSTRAGEM DE SOLO 36
3.6 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL 36
3.7 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DOS COLMOS 36
3.8 ESTUDO ECONÔMICO 39
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS 39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 40
4.1 QUALIDADE TECNOLÓGICA 40
4.2 PERFILHAMENTO 43
4.3 PRODUÇÃO DE COLMOS 44
4.4 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA 47
4.5 ESTADO NUTRICIONAL 48
4.6 ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DO POTÁSSIO 50
4.7 POTÁSSIO NO SOLO 52
4.8 ANÁLISE ECONÔMICA 60
5 CONCLUSÃO 64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Características físicas dos solos analisados em cada profundidade.....33

Tabela 02. Características químicas dos solos analisados em cada profundidade.....34

Tabela 03. Porcentagem de açúcares redutores presentes no caldo da cana, comparando os tratamentos entre si, em dois solos diferentes.....39

Tabela 04. Resultados das análises tecnológicas de brix, peso do bolo úmido e da porcentagem de fibra.....40

Tabela 05. Análise estatística para diferentes fontes de potássio com efeito sobre a pureza do caldo extraído em análise tecnológica, comparados em teste de médias, em um LATOSSOLO VERMELHO.....41

Tabela 06. Quantidade de sacarose encontrada através da leitura do sacarímetro e corrigida conforme temperatura correta de trabalho e porcentagem em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada de peso normal determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada.....42

Tabela 07. No número de colmos de cana-de-açúcar cultivada em um PLINTOSSOLO HÁPLICO e em um LATOSSOLO VERMELHO, com fontes de potássio.....43

Tabela 08. Produção de colmos por hectare, em diferentes fornecedores de potássio em dois solos (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), sendo as fontes de potássio testadas dentro de cada solo por testes de médias e comparados por Tukey.....45

Tabela 09. Produção de matéria seca dos colmos, em diferentes fornecedores de potássio em dois solos (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), sendo as fontes de potássio testadas dentro de cada solo por testes de médias e comparados por Tukey.....46

Tabela 10. Teores nutricionais para macronutrientes da folha +1, em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), em diferentes fontes de potássio.....47

Tabela 11. Teores nutricionais para micronutrientes da folha +1, em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), em diferentes fontes de potássio.....48

Tabela 12. Acúmulo de Potássio nos colmos em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), para diferentes fontes de fornecimento de potássio.....49

Tabela 13. Exportação de potássio da parte aérea, e porcentagem de exportação, em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), para diferentes fontes de fornecimento de potássio.....51

Tabela 14. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um PLINTOSSOLO HÁPLICO aos 180 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.....52

Tabela 15. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um PLINTOSSOLO HÁPLICO aos 295 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.....53

Tabela 16. Saturação de potássio na CTC para o PLINTOSSOLO HÁPLICO durante o período do experimento, variando entre os meses para cada profundidade do solo e tratamento.....54

Tabela 17. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um LATOSSOLO VERMELHO aos 180 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.....55

Tabela 18. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um LATOSSOLO VERMELHO aos 295 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.....56

Tabela 19. Saturação de potássio na CTC para o LATOSSOLO VERMELHO durante o período do experimento, variando entre os meses para cada profundidade do solo e tratamento.....57

Tabela 20. Teores de potássio no solo variando conforme profundidade e tratamentos, durante o período de 30, 180 e 295 dias após a brotação em um PLINTOSSOLO HÁPLICO.....58

Tabela 21. Teores de potássio no solo variando conforme profundidade e tratamentos, durante o período de 30, 180 e 295 dias após a brotação em um LATOSSOLO VERMELHO.....59

Tabela 22. Gerenciamento do custo dos insumos e do serviço de aplicação de cada tipo de insumo, todos indexados à moeda do Euro comercializada no dia da colheita.....61

Tabela 23. Representação do custo da tonelada acrescida.....62

Tabela 24. Representação de custo de adubação potássica por tonelada de cana produzida (Orgânica e convencional).....63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados pluviométricos do município de Goiatuba nos últimos 10 anos e no período do experimento.....32

Figura 02. Indicador que representa a quantidade total de açúcares da cana em kg t^{-1} (ATR), comparado em teste de médias.....43

RESUMO

MARQUES, E. P. **Fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2021. [1]

Estando em condição de destaque como a fonte de energia renovável no Brasil e no mundo, os produtores de cana-de-açúcar buscam produtividades crescentes as quais cada vez mais exigem das plantas que tendem a exaurir os nutrientes do solo. Sendo o potássio (K), o nutriente mais exigido e importante nesta cultura. Adubações concentradas e repetidas, proporcionam sérios problemas ao solo, assim, para que a verticalização da produção ocorra é necessário encontrar novas metodologias e tecnologias. Diante disto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de fontes de potássio e seus impactos na fertilidade do solo, na produtividade, nos parâmetros fisiológicos, tecnológicos e nutricionais da cana-de-açúcar, primeira soca, em condições edafoclimáticas de Cerrado. Foram realizados dois experimentos na Usina Goiasa, em Goiatuba, GO, durante a safra 2019/20, sendo em um PLINTOSSOLO HÁPLICO e o outro em um LATOSSOLO VERMELHO, utilizando a variedade de cana-de-açúcar SP83-2847. Os tratamentos foram constituídos por quatro fontes de potássio (KCl, vinhaça, pó de rocha e polissulfato), e uma testemunha que não recebeu aplicação do nutriente, dispostos em blocos casualizados e com cinco repetições. Os tratamentos foram aplicados na dose de 120 kg de K_2O por ha, de forma superficial, sobre a linha da cana, aos 30 dias após a brotação (DAB). Avaliou-se: teor de K no solo (até 0,8 m) e na planta (folha e colmo); variáveis biométricas (altura da planta, diâmetro do colmo e número de perfilhos), produção de colmos e qualidade tecnológica dos colmos. Em PLINTOSSOLO HÁPLICO o KCl elevou os teores de potássio, aos 180 DAB, na camada de 0-0,2 m de profundidade de forma significativa. Porém, nas camadas de 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, aos 180 DAB, a vinhaça que apresentou efeito significativo. Aos 295 DAB o KCl na camada de 0,2-0,4 m de profundidade, proporcionou a elevação do teor de potássio no solo. Já no LATOSSOLO VERMELHO, aos 180 DAB, foram elevados na camada 0-0,2 m pelo KCl e de 0,2-0,4 m pela vinhaça. Após 295 dias o KCl ainda apresentou efeito na camada0-0,2 m, porem na camada de 0,2-0,4 m o polissulfato que passou a apresentar o melhor resultado para teor de K no solo. A saturação da CTC pelo potássio, obteve acréscimo em todos os tratamentos no solo PLINTICO e decréscimo no LATOSSOLO, o mesmo efeito aconteceu com os níveis de potássio no solo em todas as profundidades. No PLINTOSSOLO HÁPLICO ocorreu os maiores acúmulos de potássio no colmo para todas as aplicações de potássio, e as maiores exportações do nutriente foi nas fontes polissulfato, KCl e pó de rocha. Já uso do pó de rocha também proporcionou ganhos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em primeiro corte localizadas em LATOSSOLO VERMELHO. A produção de colmos foi influenciada pelo KCl e pelo polissulfato, em ambos os solos, proporcionando as maiores produções.

Palavras-chave: Vinhaça, Pó de rocha, Polissulfato, Teor de K no solo

[1]Orientador: Prof. Dr. Leonardo Santos Collier. EA-UFG.

Coorientador: Prof. Dr. Rilner Alves Flores. EA-UFG.

ABSTRACT

MARQUES, E. P. **Alternative sources of potassium for sugarcane knuckles.** Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water) – School of Agronomy, Federal University of Goiás, 2021.[1]

Being in a prominent position as the source of renewable energy in Brazil and in the world, sugar cane producers are looking for growing productivity that increasingly demand from plants that tend to deplete nutrients from the soil. Potassium being (K), the most required and important nutrient in this cultivation. Concentrated and repeated fertilisers, provide serious problems to the soil, so that the verticalization of the production occurs it is necessary to find new methodologies and technologies. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of potassium sources and their impacts on soil fertility, productivity, physiological, technological and nutrional parameters of sugar cane, first sprout, in Cerrado edaphoclimatic conditions. Two experiments were carried out at Goiasa factory, in Goiatuba, GO, during the harvest 2019/20, being in a PLINTOSOLO HÁPLICO and the other in a LATOSSOLO VERMELHO, using the sugar cane variety SP83-2847. The treatments consisted of four sources of potassium (KCl, vinasse, rock powder and polysulfate), and a control that did not receive application of the nutrient, arranged in randomized blocks with five repetitions. The treatments were applied at the dose of 120 kg of K_2O per ha, superficially, over the cane line, at 30 days after sprouting (DAS). It was evaluated: K content in the soil (up to 0.8 m) and in the plant (leaf and stalk); biometric variables (plant height, stalk diameter and number of tillers), stalk production and technological quality of stalks. In PLINTOSSOLO HÁPLICO KCl increased potassium levels to 180 DAS in the 0-0.2 m depth layer significantly. However, in the 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m layers, at 180 DAS, the vinasse that had a significant effect. At 295 DAS the KCl in the 0.2-0.4 layer m of depth, provided an increase in the potassium content in the soil. Already in LATOSSOLO VERMELHO, at 180 DAS, were elevated in the 0-0.2 m layer by KCl and 0.2-0.4 m through vinasse. After 295 days, KCl still had an effect on layer 0-0.2m, but in the 0.2-0.4 m layer the polysulfate that started to present the best result for soil K content. The saturation of CEC by potassium, increased in all treatments in PLINTICO soil and decrease in LATOSSOLO, the same effect it happened with potassium levels in the soil at all depths. At the PLINTOSSOLO HÁPLICO occurred the biggest accumulations of potassium in the stalk for all potassium applications. And the largest exports of the nutrient were from sources polysulfate, KCl and rock powder. The use of rock powder also provided gains in the technological quality of sugarcane in first cut located in LATOSSOLO VERMELHO. The stalk production was influenced by KCl and polysulfate, in both soils, providing the highest yields.

Keywords: Vinasse, Rock powder, Polysulfate, K content in soil.

[1]Adviser: Prof. Dr. Leonardo Santos Collier. EA-UFG.
Co-adviser: Prof. Dr. Rilner Alves Flores. EA-UFG.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem se mostrado como a cultura mais promissora, na atualidade, como fonte de energia renovável, sendo assim uma alternativa ambiental e econômica para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. O Brasil é considerado a referência como produtor de energias alternativas, onde é possível destacar o etanol, um biocombustível que apresenta grandes vantagens quando comparado com os combustíveis fósseis. A crescente demanda por biocombustíveis traz como consequência o aumento exponencial da produção da cana-de-açúcar, e com isso cresce também a demanda por fertilizantes, com o intuito de maximizar os ganhos produtivos e econômicos da cultura, que representa uma grande parte do agronegócio brasileiro. Os solos brasileiros representam o alicerce para a produção propriamente dita, estes são ácidos e de forma geral, de baixa fertilidade e requerem um manejo correto para sua fertilização. Inclusive os solos mais férteis, após intensa exploração agrícola, necessitam de uma adubação para repor os nutrientes fundamentais para a nutrição vegetal, papel atribuído aos fertilizantes químicos e orgânicos (Malavolta, 1982). Entretanto, o agronegócio brasileiro é dependente dos fertilizantes importados, conforme a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2019). O potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, no caso da cana-de-açúcar tornasse o primeiro. O nutriente apresenta-se na forma catiônica (K^+) e seus sais apresentam alta solubilidade, o que associado à baixa capacidade de troca catiônica dos solos do cerrado, favorece a ocorrência de perdas por lixiviação (Sousa e Lobato, 2004). Todos estes fatores fazem com que o manejo da adubação potássica seja de grande importância para a manutenção e melhoria das produtividades.

O K é importante no metabolismo da planta, além de ajudar na resistência de pragas e a seca, e de estimular o acumulo de açúcares. Porém é um nutriente altamente móvel e com facilidade de lixiviação no solo, assim quando há o manejo incorreto da adubação pode causar deficiências devido à falta do nutriente na camada de solo com raízes hábeis a absorção. Assim muitos produtores aumentam as doses, e com isso, são criados outros problemas agregados, como altas concentrações pontuais e salinização do solo (Santos e

Borém, 2016). Uma fonte importante de potássio para a cultura da cana-de-açúcar é a vinhaça, que se trata de um resido do processo produtivo das usinas e que até os anos 80 era vista como um poluente de cursos hídricos, e que hoje se tornou importante no processo produtivo. A adição de vinhaça, proporciona a incorporação de matéria orgânica, e pode melhorar as condições físicas do solo e promover maior mobilização de nutrientes em função da também maior solubilidade proporcionada pelo resíduo líquido (Barros et al., 2010).

Já o cloreto de potássio que é o mais comum dos fertilizantes potássicos utilizados, e apesar de possuir reação neutra, age como adubo ácido sobre o solo, devido dua salinidade. Assim é aconselhável, para manter os benefícios do potássio, que seja trocada as fontes dos adubos potássicos, por uma adubação verde, para eliminar o cloro que pode estar em excesso no solo, por via biológica (Primavesi, 2018). Uma alternativa para aumentar a fertilidade dos solos com o objetivo alternativo à adubação química convencional, é a aplicação de pó de rocha no solo. O pó ou farinha de rocha é um resíduo das mineradoras e apesar de ser de baixa solubilidade tem sido usado para melhorar os níveis de fertilidade, pois existem inúmeros tipos de rochas com composições nutricionais variadas. É uma fonte de nutrientes que é encontrada em abundância, e com ampla distribuição no território brasileiro. Numa estratégia de manejo com baixo investimento em fertilizantes é possível substituir parcialmente as fontes solúveis convencionais por agrominerais aplicados como rochagem (Padua, 2012). Outra possível alternativa para o uso correto e biodinâmico dos nutrientes é o uso do polissulfato, onde é possível ter este produto como uma importante fonte de potássio, além de possuir um benefício importante que é ser um conteúdo natural e adicional de outros macro nutrientes, podendo assim ser uma solução orgânica para uma agricultura, além de deixar a dependência de poucos produtos.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de fontes de potássio e seus impactos na fertilidade do solo, na produtividade, nos parâmetros fisiológicos, tecnológicos e nutricionais da cana-de-açúcar, primeira soca, em condições edafoclimáticas de Cerrado. Buscando diminuir a dependência do tradicional cloreto de potássio e encontrando fontes alternativas que possam ser utilizadas de forma eficiente na nutrição de plantas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REPRESENTATIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção prevista de 642,1 milhões de toneladas na safra 2020/21, seguido da Índia e da China, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2020). A área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil atingiu na safra 2019/20 aproximadamente 8,5 milhões de hectares. O crescimento do setor sucroenegético e a expansão da cultura, são consequências do quão promissora é a cana-de-açúcar na produção de energias renováveis, neste cenário o Brasil é um país referência como produtor de energia alternativa, onde podemos destacar além do açúcar, a produção de etanol e da biomassa, utilizada para cogeração de energia elétrica. O etanol já representa um volume de mais de 50% dos combustíveis utilizados no pais, para veículos leves, além da produção de biomassa já gerar mais de 9% de eletricidade, possuindo potencial de chegar a ser maior que 15% da matriz energética brasileira. Apesar da recessão econômica mundial, atualmente o setor sucroenergetico está em expansão devido os fatores ligados ao uso da chamada “energia limpa”, onde nela se inclui fatores ligados ao uso do etanol como alternativa renovável aos combustíveis fosseis. Outro motivo para a expansão do setor e da cultura no país, é a crescente exportação de açúcar e álcool, é grande competitividades brasileira, os estímulos e subsídios dos governos, atrelados as condições de solo, clima e relevo que o Brasil ainda possui. Além disso, compromissos internacionais para utilização de fontes renováveis de energia, visto a diminuição das reservas petrolíferas mundiais e a crescente preocupação mundial por fontes de energia renováveis, e redução das emissões de gases do efeito estufa deverão promover, nos próximos anos, aumento considerável na área plantada com cana-de-açúcar no Brasil visando à produção de Biomassa energética.

Apesar da grande importância para a economia do pais, a cana-de-açúcar nos últimos anos vem sendo pressionada pela sociedade, principalmente no que se refere a questões ambientais, saúde pública e desenvolvimento econômico, fazendo com que

governo de regiões produtoras criassem leis mudaram o cenário do cultivo de cana-de-açúcar no pais, leis como a da proibição da queima da palhada e zoneamento de áreas produtoras, que proporcionaram o setor criar soluções que hoje temos como avanço no sistema produtivo (Brasil, 2020).

Com a responsabilidade de produzir "energia limpa" dada ao setor sucroenergético, teve-se uma escolha pelo uso de uma agricultura extensiva e tradicional, com a visão sempre voltada para grande produtividade agrícola, os produtores foram conduzidos ao uso de fertilizantes convencionais, pois para atender o crescimento do setor energético ligado aos biocombustíveis, houve um estimulo ao aumento na produção das matérias-primas e para assim fazer, requer uso de insumos, e é neste momento que o Brasil esbarra em uma produção de fertilizantes insuficiente. Salienta-se que 72% dos insumos utilizados, que é constituído de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) de alta concentração e solubilidade, no Brasil são oriundos de fontes de importação (Sirimarco, 2015). O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, consumindo aproximadamente 33,8 milhões de toneladas. O estado de Goiás é responsável por 9,8% deste consumo. Quando se trata de elementos específicos o Brasil consome aproximadamente 5,8 milhões de toneladas de potássio, onde somente o estado de Goiás é responsável por 10,3% deste consumo. A cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil, inferior somente ao consumido pelas culturas de soja e milho (ANDA, 2019).

De todo o K_2O produzido no mundo, 95% é utilizado na agricultura como fertilizante. O potássio é adquirido, principalmente, em minas de subsuperfície em profundidades maiores que 400 metros, bem como em depósitos de água salgada. Estima-se que as reservas hoje, sejam de 17 bilhões de toneladas, mas apenas 8 bilhões são economicamente exploráveis. Apenas 12 países no mundo produzem potássio, enquanto mais de 150 países são consumidores deste nutriente, como o Brasil, que consome 14% do potássio produzido no mundo, cerca de 3,9 milhões de toneladas por ano, ficando assim como o terceiro maior consumidor mundial. Do volume total que o Brasil consome de potássio, a soja é o maior consumidor com aproximadamente 50%, em seguida vem à cana-de-açúcar com 18% do consumo brasileiro (International Fertilizer Industry - IFA).

O Brasil é totalmente dependente da importação de potássio para suprir sua demanda interna, chegando a uma importação que se aproxima de 90% de sua necessidade. E sua produção de K_2O está longe de ser autossuficiente, visto que a estreita relação com a importação está crescendo com o passar dos anos, e com isso a dependência externa para este produto não dá sinais que diminuirá em um futuro próximo (Fernandes, et al., 2018).

2.2 MANEJO DO POTÁSSIO E SEU BALANÇO NO SISTEMA SOLO-PLANTA

O potássio está nos solos de diferentes formas, onde temos o K da solução, K trocável, K não trocável (fixado) e o K estrutural, onde temos que o suprimento de potássio para as plantas advém da solução do solo como íon monovalente K^+, e dos sítios de troca dos coloides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (Sparks e Huang, 1985). A passagem do K da forma trocável para a não-trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutriente na solução do solo, fazendo com que seja possível a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (Rosolem et al., 2006). A energia de retenção dos cátions trocáveis Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^+ nos colóides do solo segue uma série denominada liotrófica, resultando na maior lixiviação de K em solos bem drenados, principalmente em solos com menor CTC (Raij, 1991), característica de grande parte da região de Cerrado do Brasil. Dessa maneira, recomenda-se realizar a aplicação desse nutriente conforme as plantas se desenvolvem, visando reduzir as perdas no sistema solo-planta e aumentar a eficiência de utilização desse nutriente. Entretanto, no setor sucroenergético a aplicação do K normalmente é feita de uma única vez, com dose que varia de 80 a 140 kg ha^{-1} de K_2O (Lana et al., 2004). O K adicionado via adubação potássica, assim como aquele disponibilizado da palha que permanece sobre o solo, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente e da textura do solo, entre outros fatores (Rosolem et al., 2006). Rosolem e Nakagawa (2001) observaram aumento na lixiviação de K no perfil de um solo de textura média quando foram aplicadas doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O por ano, independentemente do modo de aplicação do fertilizante. Além de favorecer a lixiviação, o K aplicado em doses elevadas e de uma única vez pode causar a salinização da região que recebe o fertilizante, podendo causar toxidez às raízes das plantas. No Brasil, podemos dizer que o primeiro trabalho de calibração do K trocável no solo para cana-de-açúcar foi realizado

por Raij (1974), quando foi determinado o nível crítico de 2,1 $mmol_c$ dm^{-3} de K. Posteriormente, Orlando Filho et al. (1981) obtiveram nível crítico de 2,3 $mmol_c$ dm^{-3} de K, enquanto Rodella et al. (1983), utilizando maior número de dados experimentais, sugeriram o nível crítico de 2,0 $mmol_c$ dm^{-3} no solo para produção relativa de 90%. Com base nestes resultados da curva de calibração obtida, formulou-se a recomendação de adubação potássica adotada na região Centro-Sul do Brasil, onde baseia-se na extração demandada pela planta e nas classes de teores de K no solo, com doses de K_2O que variavam de 0 a 200 kg ha^{-1}, sendo o parcelamento indicado somente em solos de textura arenosa ou média (Spironello et al., 1997). Os solos do Cerrado possuem um aspecto importante para a viabilidade da cultura, e estes solos em sua maioria possuem carência do elemento e exigem uma adubação, pois possui menor reserva. Além dos solos tropicais serem pobres em minerais contendo K, o fato dos mesmos apresentarem baixa capacidade de retenção de cátions favorece as perdas por lixiviação do K oriundo dos fertilizantes (Curi et al., 2005).

O suprimento de potássio às plantas varia em função da forma em que se encontra no solo, da sua quantidade e do seu grau de disponibilidade nas diferentes formas, bem como das características físicas que afetam sua condução, através do solo, até à superfície da raiz. Por esta razão que deve-se ter maior cuidado com o manejo da adubação potássica, onde os métodos e épocas de aplicação, além de doses e fontes diferentes, de acordo as necessidades da cultura (Sousa e Lobato, 2004).

Com a expansão do sistema plantio direto, aumentou a necessidade de se conhecer a mobilidade vertical de cada nutriente no solo, uma vez que, nesse sistema, os fertilizantes são aplicados nos centímetros superficiais, sem incorporação posterior. A mobilidade dos nutrientes no perfil pode afetar a sua disponibilidade aos vegetais (Kepkler e Anghinoni, 1996) e as perdas por lixiviação (Ceretta et al., 2002). Por isso, também pode influenciar na escolha das técnicas mais adequadas de fertilização do solo, como épocas e doses, pois o manejo inadequado da adubação potássica pode trazer problemas ambientais e, ou, econômicos.

O potássio é o cátion mais abundante nas plantas e tem importante função no estado energético, na translocação e no armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais. O potássio não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula

orgânica na planta, mas atua em muitos processos fisiológicos no vegetal. Este nutriente ativa mais de 60 sistemas enzimáticos. O potássio atua na fotossíntese, favorece um alto estado de energia, necessária para a produção de ATP, mantém o turgor das células, regula a abertura e o fechamento dos estômatos, promove a absorção de água, regula a translocação de nutrientes na planta, favorece o transporte e o armazenamento de carboidratos, incrementa a absorção do nitrogênio e a síntese de proteínas e participa da síntese de amido nas folhas (Taiz e Zeiger, 2004). Quando temos uma nutrição potássica adequada, a planta responde através de processos metabólicos, pois o nutriente vai realizar suas múltiplas funções, dentre estas o incremento no crescimento das raízes, aumento da resistência à seca e a baixas temperaturas, resistência a pragas e doenças, resistência ao acamamento das plantas e incremento na nodulação das leguminosas. Uma correta nutrição de potássio promove também o incremento no teor da qualidade de proteínas, de amido nos grãos e tubérculos, na coloração e no aroma dos frutos, no teor de vitamina C e de sólidos solúveis e na redução de desordens fisiológicas (Fernandes, et al., 2018).

O potássio é considerado o segundo nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais, depois do N. Já nos canaviais a maioria das variedades hoje plantadas requerem maior volume de potássio em sua absorção, ficando à frente até mesmo do volume requerido de nitrogênio (Rodrigues, 2018). O potássio tem alta mobilidade na planta, em qualquer concentração, seja dentro da célula, no tecido vegetal, no xilema ou no floema, com importante ação na translocação de sacarose. Esse nutriente não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade, além de ser o íon mais abundante nas células vegetais (Marschner, 1995).

O K desempenha diversas funções metabólicas na planta. Nos solos da região tropical, os teores de K normalmente são baixos (normalmente inferiores a 1,5 $mmol_c/dm^{-3}$), tornando necessária a complementação desse nutriente com fertilizantes para possibilitar produtividades sustentáveis. O K, seguido pelo N, é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, para cada 100 t ha^{-1} de colmos, são exportados cerca de 150 kg ha^{-1} de K_2O (Malavolta, 1982), embora em solos com teores elevados de K a exportação pelos colmos possa atingir 285 kg ha^{-1} de K_2O (Franco et al., 2008).

2.3 USO DE FERTILIZANTE POTÁSSICO NA AGRICULTURA

O uso eficiente de adubos potássicos deve considerar os fatores que aumentam seu efeito residual e o rendimento das culturas por unidade de potássio aplicado no solo. Entre esses fatores, a dose, a fonte e o modo de aplicação são os mais importantes. A adubação procura cobrir a diferença entre a quantidade de potássio que a cultura necessita e a que o solo é capaz de fornecer, e considerar ainda as perdas como à lixiviação, fixação e erosão. Portanto, a realização de uma adubação potássica eficiente, deve iniciar pela amostragem do solo para análise química e pelo levantamento do histórico da área a ser adubada. Para solos da região do cerrado, temos dois sistemas de correção da deficiência de potássio. Uma forma é conhecida como corretivo total, que consiste em aplicar doses de potássio para corrigir a deficiência, seguida de aplicações anuais para repor a extração feita pela cultura. A outra forma consiste na adubação corretiva gradual, onde é aplicado anualmente doses de potássio um tanto acima da necessidade das culturas. (Sousa e Lobato, 2004).

Os fertilizantes potássicos são originários da moagem de rochas ricas neste nutriente e principalmente da extração de depósitos formados pela evaporação de antigos mares e lagos que, posteriormente, foram cobertos por rochas e hoje estão a grandes profundidades. Todos os fertilizantes potássicos minerais do mercado são solúveis em água e, portanto dissolvem na solução do solo imediatamente depois de aplicados. Eles diferem quanto à concentração, índice salino e presença de ânions acompanhantes (Novais, et al., 2007). Quanto a fontes de adubos potássicos, existem poucas opções disponíveis. No Brasil, o principal fertilizante para o fornecimento de potássio, utilizado é o cloreto de potássio, que contém aproximadamente 60 % de K_2O, sendo essa a forma mais recomendada, econômica e prática, de se fornecer o nutriente (Sousa e Lobato, 2004).

2.4 CANA ORGÂNICA

A agricultura orgânica é um sistema de produção agrícola baseado em princípios ecológicos, e que tem como princípios a preservação do meio ambiente, o manejo adequado dos recursos naturais e do solo, proteção das plantas e valorização dos recursos humanos. O sistema orgânico dispensa o emprego de insumos agroquímicos agressivos, pois leva em consideração a relação solo-planta-ambiente, utilizando recursos naturais da própria região (Penteado, 2018).

A produção de culturas orgânicas, de modo geral, vem se desenvolvendo ao longo dos últimos anos e atendendo a uma demanda de mercado cada vez mais crescente, e nesta crescente também esta as grande culturas, onde a cana-de-açúcar torna-se a cultura de maior produção de orgânicos do mundo, quando comparada proporcionalmente a produção convencional, isto muito devido a demando do açúcar orgânico. O Brasil é o maior produtor de cana orgânica do mundo, responsável por praticamente a metade da produção mundial nesta categoria (Brasil, 2018).

Este tipo de manejo possui grandes limitadores, como controle de pragas, doenças e de plantas daninhas, porem o manejo nutricional é o grande desafio do setor, pois há poucas opções de substituição aos adubos convencionais, e isso restringe o desenvolvimento do método (Penteado, 2018).

Não podendo haver adubações com fertilizantes solúveis, a nutrição é basicamente feita com matéria orgânica oriunda de compostos como a torta de filtro mais cinzas da indústria, adubação verde, vinhaça, fosfato de rocha ou hiperfosfatos, calcário e gesso de rocha. Assim o manejo acaba se tornando dependente de poucas fontes, principalmente para a nutrição das plantas em nitrogênio e potássio (Kiehl, 1985)

2.5 A VINHAÇA COMO FONTE DE NUTRIENTES

Um dos principais resíduos da indústria sucroenergética, a vinhaça, também conhecida como vinhoto, representa o resíduo pastoso e mal cheiroso que sobra após a destilação fracionada do caldo de cana-de-açúcar (garapa) fermentado, para a obtenção do etanol (álcool etílico). Para cada litro de álcool produzido, 12 litros de vinhaça são deixados como resíduo. Este subproduto tem sido utilizado em larga escala na alimentação de animais, produção de metano e, principalmente, fertilização de solos. Rica em potássio, magnésio, cálcio, enxofre e micronutrientes, a vinhaça é aplicada como fertilizante nas próprias plantações de cana-de-açúcar. Além disso temos que é um insumo rico em matéria orgânica, a qual é indispensável para o setor de produção, visto que há um favorecimento das condições de solo. E de forma vantajosa no uso da vinhaça aplicada nos solos temos a elevação do pH, o aumento da capacidade de trocas catiônicas, tendo ainda o aumento da disponibilidade de alguns nutrientes e uma melhoria na formação de estruturas mais estáveis

pela adição da matéria orgânica, proporciona ainda melhoria na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo (Penatti, 2013).

Apesar dos valores nutricionais da vinhaça serem conhecidos desde a década de 1950, seu uso teve início somente vinte anos após, devido ao encarecimento dos fertilizantes químicos e à proibição do descarte deste resíduo nos rios. Essa proibição também foi aplicada aos demais subprodutos do álcool, considerando o alto impacto de sua eliminação no meio ambiente. O bagaço, a torta de filtro, a levedura seca, o melaço e outros resíduos passaram a ser utilizados na fertilização dos solos, alimentação humana e animal e na cogeração de energia. A utilização de subprodutos tornou-se grande redutor de custos para a usina, visto que eles cada vez mais substituem ou complementam a adubação mineral e com custos baixos. O uso da vinhaça em áreas agrícola, traz benefícios indiscutíveis tanto do ponto de vista agronômico quanto do econômico e social (Giachini e Ferraz, 2009).

A vinhaça é caracterizada como efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante. O seu uso na fertirrigação deve ser controlado para evitar impactos ambientais negativos no solo, nascentes e lençóis freáticos. A salinização também pode ser um outro problema para os solos fertirrigados. De acordo com Souza (2005), usos inferiores a 400 m^3 ha^{-1} não trazem problemas de salinização ao mencionar estudos feitos em três tipos de solos (aluvial, 51% de argila; PODZÓLICO VERMELHO AMARELO, 38% de argila; e hidromórfico, 5,5% de argila). Adicionalmente, há concordância entre alguns pesquisadores que doses acima de 400 m^3 ha^{-1} são prejudiciais à cana (redução da qualidade e produtividade). Porém é certo que os efeitos prejudiciais causados ao solo e/ou as plantas sempre decorrem ao uso inadequado, isto é, doses inadequadas, tendendo a excessivas ou aplicações em solos não apropriados (Penatti, 2013).

2.6 KCl, O FERTILIZANTE MAIS USADO NO MUNDO

O cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante mais utilizado no mundo, simplesmente pelo fato de ser o mais barato, e possuir sua distribuição facilitada por todo o mundo. O KCl é obtido a partir de jazidas naturais e apresenta coloração que varia do vermelho ao branco, a qual não influencia na qualidade do produto. É um fertilizante com elevado índice salino, que pode prejudicar a germinação ou o crescimento inicial das plantas, principalmente em solos de baixa CTC. Havendo umidade no solo, o KCl se dissolve nas

primeiras horas após a aplicação, liberando o nutriente, parte deste K vai para a solução do solo e parte vai para as cargas negativas do solo, de onde o K desloca outros cátions para a solução. O cloro vai todo para a solução do solo e, ao combina-se com o K, ou com outros cátions na solução, pode deslocar-se verticalmente no perfil. Dependendo da CTC e da quantidade de chuva, parte desses íons pode ser perdida por lixiviação (Novais, et al., 2007).

2.7 PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES NA AGRICULTURA

O uso de um fertilizante que possui liberação gradual do potássio nele contido, conforme a presença da água, seja da chuva ou da irrigação, reduzindo as perdas por lixiviação e disponibilizando para o sistema solo planta o nutriente de forma gradual, assim favorecendo a absorção do nutriente pela planta em todo o seu ciclo de vida. Desta forma torna-se possível a aplicação em dose única, dispensando o parcelamento, facilitando assim o operacional (Nascimento e Loureiro, 2004).

A rochagem é uma técnica de fertilização baseada na adição de pó de determinados tipos de rocha ou minerais, os quais passaram por processos de moagem, e possuem a capacidade de alterar positivamente a fertilidade dos solos sem afetar o seu equilíbrio ambiental e biológico. Por ser um condicionador e remineralizador do solo, o insumo pode proporcionar um aumento da CTC e condicionar o solo a alcalinidade, assim sendo não é um produto salino. Proporciona uma liberação de nutrientes de forma gradual, com isso é possível o efeito residual para culturas sucessoras. O pó de rochas brasileiras liberam potássio no solo, como fonte de nutriente para as plantas, a baixo custo, tanto no valor de compra, quanto nas menores percas que são contabilizadas principalmente devido aos ânions ligados a silicatos, e com isso diminuindo a lixiviação (Santinato, et al., 2017).

O uso de rochas moídas como fontes de agrominerais com fins de fertilização do solo é conhecido como rochagem. E agrominerais é o termo aplicado para descrever matérias-primas de origem mineral, como resíduos de mineração, garimpo e metalurgia, passíveis de serem utilizados na agropecuária com efeitos benéficos em solos empobrecidos, degradados pelo uso inadequado e para fertilização dos mesmos. As primeiras pesquisas foram realizadas pelo francês M. Missoux em 1853 e o bioquímico nutricionista alemão Julius Hensel em 1880, que divulgaram trabalhos sobre a aplicação de pó de rocha como fertilizantes. Em termos históricos, há a contribuição de vários pesquisadores em estudos

relacionados a rochagem (Fyfe; Leonardos; Theodoro; 2006). Já no Brasil, os estudos, sobre o uso da técnica da rochagem, iniciaram pelo pesquisador Othon Leonardos (UnB). Em 1970 as pesquisas se intensificam devido à necessidade de fornecimento de K e outros nutrientes como novas possibilidades para obtenção de fertilizantes (Bamberg, et al, 2016). Entretanto, o País que ainda utiliza extensivamente as fontes convencionais de potássio solúvel (cloreto de potássio), está iniciando de forma incisiva o uso de manejos e adubação onde seja mais sustentável e ainda com uma busca de nutrientes que sejam liberados de forma gradativa, onde é amenizado o efeito das percas do nutriente, principalmente por lixiviação.

A aplicação de agrominerais ao solo caracteriza-se pelos diversos efeitos benéficos proporcionados. Minerais provenientes de rochas ígneas e metamórficas contêm a maior parte dos nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento de plantas superiores. Em geral, dentre os nutrientes fornecidos pelas rochas estão potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, além de alguns micronutrientes, elementos benéficos às plantas, como silício e elementos-traços que também podem ser encontrados, em alguns tipos de rochas podem possuir volumes de metais pesados (Melo; Castilhos; pinto, 2009; Straaten, 2006; Theodoro; Leonardos; Almeida, 2010).

Recentemente, novas tentativas vêm sendo feitas no sentido de obter fontes alternativas do nutriente. Numa parceria entre a Embrapa e a Universidade de Brasília, iniciaram-se estudos visando à identificação e caracterização de rochas com o intuito de utilizá-las simplesmente moídas (in natura) como fontes de K para uso agrícola. Das rochas preliminarmente estudadas, cinco apresentaram maior potencial: biotita xisto, brecha alcalina, carbonatito, flogopitito e ultramáfica alcalina. As rochas que contêm quantidades razoáveis de biotita ou flogopita seriam as mais promissoras para aplicação direta ao solo, uma vez que tendem a solubilizar-se e liberar o K com relativa facilidade. Em alguns casos, além do K, as rochas podem fornecer outros nutrientes e apresentar efeito alcalinizante, atuando como condicionadores de solo (Novais et al., 2007).

Um aspecto importante é que parte das rochas estudadas são rejeitos de garimpos de pedras preciosas, o que também soluciona, em parte, um problema ambiental. Além disso, o beneficiamento é físico, já que essas rochas serão moídas e seu pó incorporado ao solo, para liberação de potássio. Não há processamento químico para a retirada do nutriente. Trata-

se da mesma tecnologia utilizada na produção do calcário agrícola. Na rochagem têm-se doses não muito altas de potássio, onde parte do nutriente tem liberação rápida, mas outra parte é liberada a longo prazo. Isso tende a beneficiar culturas perenes, semi perenes, sistemas de integração lavoura-pecuária, além cultivos de agricultura de manejo sustentável. A liberação fracionada do K é conveniente porque, além da possibilidade de reduzir, em certos solos, as perdas por lixiviação, contribui para evitar excessiva concentração de sais nas proximidades dos toletes (Alvarez e Freire, 1962). Para Novais et al. (2007), a baixa solubilidade pode promover a quantidade necessária para geração de argilas, que aumentam a capacidade de troca catiônica do solo.

A rochagem, apesar de parecer novidade, já é praticada há vários anos, tendo como exemplos as práticas agrícolas da calagem e fosfatagem (Meert et al., 2009). Essa prática de fertilização também pode ser compreendida como uma espécie de banco de nutrientes de baixa dissolução, ao qual as plantas recorrem à medida que seu desenvolvimento o exija (Theodoro; Leonardos; Almeida, 2010).

Straaten (2006) e Weerasuria et al. (1993) (citados por Campbell, 2009) consideraram que o uso das rochas chamadas multe elementares seria mais vantajoso que os adubos convencionais, em função do fornecimento de vários nutrientes simultaneamente, presentes nestes agro minerais. Contudo, existem indicativos de outros benefícios da rochagem, como o aumento da retenção de água no solo, principalmente quando os agrominerais estão associados a compostos orgânicos, possibilitando melhor desenvolvimento radicular e, consequentemente, maior resistência das plantas a adversidades climáticas como os veranicos (Andrade et al., 2002; citado por Resende et al., 2006). O uso de agrominerais poderia aumentar a mineralização de C e N, beneficiando a ciclagem de nutrientes ao longo do tempo em áreas de plantas perenes ou semi perenes, (Campbell, 2009), mostrando que a rochagem traria condições favoráveis à atividade dos microrganismos do solo.

De modo geral, os resultados negativos da rochagem, geralmente, estão associados ao ciclo curto das culturas utilizadas como planta-teste, períodos curtos de avaliação, condições climáticas desfavoráveis ao intemperismo, solos estéreis e com baixa

atividade microbiana ou ao próprio agromineral testado como fonte de nutrientes (Bamberg, et al, 2016).

2.8 POLISSULFATO, UMA FONTE SOLUVEL ALTERNATIVA DE POTÁSSIO

O polissulfato é extraído em grandes profundidades da crosta terrestre (mais de 1200 m), estima-se que esse mineral foi depositado há 260 milhões de anos atrás por águas salinas e sedimentos orgânicos, em uma mina está localizada dentro do North Yorkshire Moors National Park na costa nordeste da Inglaterra, é um novo fertilizante, rico em sulfato, e disponível em seu estado natural. Pode ser recomendado para a agricultura orgânica, por poder ser aplicado de forma in natura. Mineral natural que contém enxofre, sulfato de Potássio, Sulfato de Cálcio e Sulfato de Magnésio para uso como granulado de solo. Combinação perfeita para enriquecer fórmulas e ou aplicação direta. É um fertilizante extraído da polyhalita, um mineral natural, cuja fórmula química é: $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 . 2(H_2O)$ formação durante evaporação de mares pré históricos. A principal camada do mineral foi encontrada em setembro de 2010, trazendo as primeiras amostras até a superfície. Estima-se que há 1 bilhão de toneladas disponíveis nessa fonte (Vale e Silva, 2009).

O polysulphate está disponível tanto como produto granulado e em pó. O produto granulado (2-4mm) tem excelentes características de aplicação ao solo e é um fertilizante ideal para aplicar ao lado de nitrogênio em linha reta. Além do sulfato, o fertilizante tem bônus adicionais valiosos de potássio (K_2O), magnésio (MgO) e cálcio (CaO). A potassa é reconhecida como um insumo necessário, com recomendações baseadas em análises de solo e de remoção na colheita. Mas pesquisas mostraram que as reservas estão caindo, com mais solos cultivados com índice 0 ou 1. A maior parte do potássio em uma colheita de cereais está na palha. Portanto, ao vender palha por interessante comercial, passa a ser importante reposições de potássio para compensar. O potássio presente no produto pode complementar ou até mesmo substituir as aplicações regulares de fertilizantes potássicos (Leandro, et al, 2003).

O polissulfato é particularmente adequado para as culturas que preferem baixos teores de cloreto no solo, evitando assim toxidez da planta pelo cloro, além da salinização do solo, que vem sendo uma questão já presente em muitos ambientes de cultura devido ao uso desregrado do cloreto de potássio (Vale e Silva, 2009).

Ensaios têm sido realizados ao longo dos últimos dez anos, tanto em vasos quanto no campo. Em todas as oportunidades, a performance deste produto foi tão boa ou superior do que as melhores alternativas disponíveis no mercado. O polisulfato de potássio apresenta ainda um efeito residual importante, pois com sua liberação gradual do nutriente faz com que os níveis de potássio no solo sejam significativamente maiores do que nas áreas tratadas com adubação convencional e maior também que em áreas de testemunha onde não há tratamento de nutrientes (Bernardi, et al., 2017). Pesquisas já mostraram que a liberação dos nutrientes é adequada para o período de maior crescimento e demanda das culturas, visto que as formações de sulfato faz com que os nutrientes estejam em uma melhor forma de absorção, e a liberação gradativa destes elementos proporciona que as percas tenham menor risco de ocorrer, assim favorecendo as aplicações em doses únicas, sem necessidade de parcelamentos, visto que os elementos sendo liberados desta forma não há uma alta concentração do elemento em um único momento e sim deixando o solo sempre com uma quantidade satisfatória para as plantas, e desta forma proporcionando vantagens operacionais e nutricionais ao sistema de produção (Vale, 2016).

Polysulphate foi testado no Brasil em cultivo de arroz em ensaio na ESALQ – USP em que os tratamentos em potes com o fertilizante granulado e em pó foram eficientes tanto quanto o fornecimento do mesmo nível de nutrientes com fontes solúveis na produção de matéria seca enquanto que a testemunha sem fertilizante assim como o tratamento faltando os nutrientes S, K, Mg e Ca simplesmente colapsaram sem conseguir desenvolver as plantas. O ponto de destaque neste ensaio em arroz em potes foi a maior absorção do Potássio no tratamento com polysulphate em dose de 2g/pote em relação ao tratamento com Potássio solúvel (Leandro, et al, 2003).

O polissulfato tem uma série de benefícios chave, que o torna uma escolha ideal, quando se trata de fertilizante com sulfato para pecuaristas e agricultores. Ele oferece uma oportunidade real de obter o potencial máximo de uma vasta gama de cultivos. Uma grande vantagem do produto é que o nutriente está prontamente disponível a planta, visto que aparece na forma solúvel, pois o sulfato está pronto para uso imediato. É considerada uma ótima fonte de potássio, magnésio e cálcio, como um bônus adicional ao fornecimento do sulfato. Possui baixo teor de cloreto, sendo apropriado para culturas sensíveis a esse elemento. Além de ser seguro ao meio-ambiente, já que tanto sua obtenção como seu uso

ocorrem em seu estado natural, sem processamento ou resíduos; sem acidificantes (Furlani, et al, 1976).

Ao contrário dos fertilizantes mistos ou compostos, o polissulfato está disponível em seu estado natural. Além disso, é extraído, triturado, peneirado e ensacado sem nenhuma separação química ou outros processos industriais. Assim sendo um aliado da agricultura orgânica e biodinâmica, pois oferece nutrientes de forma totalmente natural. O baixo teor de cloreto o torna ideal para uso em culturas sensíveis a esse elemento. O processo natural através do qual é produzido, faz dele um fertilizante com baixa emissão de carbono. Isso ajuda aos produtores a alcançar metas de carbono exigidas por varejistas e algumas indústrias de alimentos (Vale, 2017).

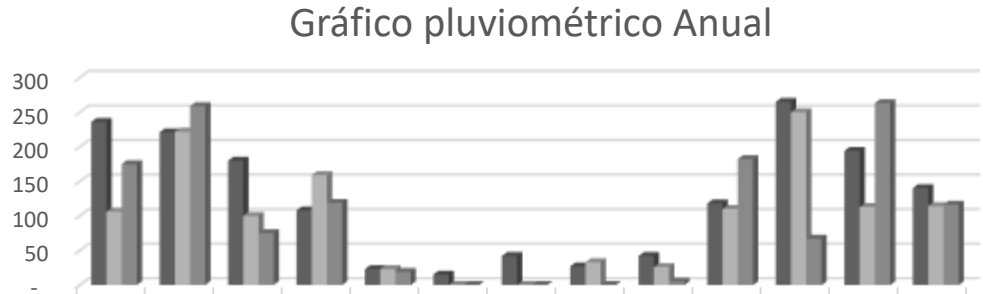
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado no período de novembro de 2019 a dezembro de 2020, conduzido em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar (primeira soqueira), colhida mecanicamente sem despalha a fogo, em área comercial da usina Goiasa, localizada no município de Goiatuba, no estado de Goiás, região centro Oeste do Brasil, bioma Cerrado, estando o local experimental localizado nas coordenadas de latitude em -18.0808, e longitude em -49.7893. Ambos os experimentos foram conduzidos em áreas da usina, onde o manejo praticado é convencional, visto que nas áreas caracterizadas como de manejo orgânico, não é permitido a introdução do cloreto de potássio.

O clima da região de estudo é predominantemente tropical, possuindo uma divisão marcante de duas estações bem definidas durante o ano, sendo o verão úmido e quente e inverno seco e frio, assim o clima é classificado como Aw segundo a Köppen e Geiger. A temperatura média varia entre 20,2 ºC e 24,5 ºC (GOVERNO DE GOIÁS, 2019). Com pluviosidade no município que alcança até 265 milímetros mensais, onde possuem uma regularidade média anual de 1369 mm, como se pode observar na figura 1 que representa a média histórica de pluviosidade na área de estudo nos últimos 10 anos, dando assim parâmetro médio para entendimento de como se comporta o regime pluviométrico esperado durante o experimento.

A área de realização do estudo está em sua primeira soqueira, não tendo assim efeito da adubação de plantio. A colheita anterior na área ocorreu no quarto trimestre do ano de 2019, alcançando uma produção média de 155,28 toneladas por hectare. Esta área possui um histórico de mais de dez anos de cultivo de cana-de-açúcar, não havendo irrigação ou fertirrigação.



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total (x 10)
10 anos	236	221	180	108	23	15	42	27	42	118	265	194	140,3
2019	106	222	100	159	23	-	-	33	26	110	250	113	114,2
2020	175	259	75	119	19	-	-	-	5	182	67	263	116,4

Figura 1. Dados pluviométricos do município de Goiatuba nos últimos 10 anos e no período do experimento. (Fonte: Usina Goiasa.)

O canavial está implantado com o material clonal SP83-2847, o qual possui grande rusticidade e baixa exigência de solos férteis, e um material indicado para ambientes médios – desfavoráveis (D - E), material de ótima produtividade, e possui um porte ereto, com ótima capacidade de brotação de soqueira sob palha e um bom fechamento das entre linhas, com perfilhamento rápido. Canavial com formação plena em linhas de espaçamento de 1,5 m, não possuindo falhas considerável em suas linhas, os restos culturais, como palha e ponteiro se mantiveram no local e formaram uma densa camada sobre o solo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ANALISADOS

A pesquisa foi dividida em dois experimentos distintos, os quais foram conduzidos em solos diferentes, para assim melhor verificar os verdadeiros efeitos de tratamentos, sendo os mesmos com localização próxima um do outro (solo 1, latitude -18.0758, longitude -49.7844 e solo 2, latitude -18.0808, longitude -49.7893). Os tipos de

solo das áreas experimentais são classificados como PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 2018). Além dos dois solos possuírem classificação distinta, quanto a sua formação e estrutura, a escolha dos mesmos, teve como pretensão a observação do solo 1 que possuía inicialmente um nível de potássio classificado como baixo e no solo 2 um nível classificado como médio, assim dando condições melhores para a análise de atuação das fontes de fornecimento do nutriente.

Para iniciar o experimento e conhecer o solo como um todo, foram coletadas porções dos solos que compõem as áreas experimentais, nas camadas de 0,0 - 0,20 m, 0,20 – 0,40 m, 0,40 – 0,60 m e 0,60 – 0,80 m em todas as unidades experimentais, para análises e conhecimento das características físicas e químicas do solo a ser implantado os tratamentos, onde as características físicas estão descritas na tabela 01. Uma análise física consiste em se realizar a determinação dos teores de areia, silte e argila, o que auxilia na adequada interpretação dos teores de nutrientes no solo.

Tabela 01. Características físicas dos solos analisados em cada profundidade.

Solo	Profundidade	**Argila**	**Silte**	**Areia**
PLINTOSSOLO HÁPLICO	00-20	37,00	11,00	52,00
	20-40	40,00	11,00	49,00
	40-60	42,00	14,00	44,00
	60-80	43,00	11,00	46,00
LATOSSOLO VERMELHO	00-20	43,00	14,00	43,00
	20-40	45,00	13,00	42,00
	40-60	47,00	13,00	40,00
	60-80	49,00	14,00	37,00

Buscando conhecer a fertilidade do solo, foi realizado a análise química do solo, a qual foi utilizada como instrumento na orientação e referência para a condução do experimento, além de balizar os resultados obtido no termino da pesquisa. Todas as características químicas iniciais do solo podemos observar na tabela 02, onde os resultados se referem a amostras

coletadas em quatro profundidades em todas as unidades experimentais. Esta analise se refere ao mês de janeiro onde as plantas estavam com 30 dias após brotação.

Tabela 02. Características químicas dos solos analisados em cada profundidade.

Solos	Profundidade	P.res	S	K	K	Ca	Mg	Al	H+Al
		mg/dm³			cmolc/dm³				
PLINTOSSOLO HÁPLICO	0-20 cm	5,60	7,34	35,60	0,09	3,00	1,20	0,00	3,80
	20-40 cm	1,30	4,14	16,00	0,04	1,50	0,80	0,00	4,00
	40-60 cm	1,10	2,88	13,30	0,03	0,90	0,50	0,00	4,00
	60-80 cm	0,90	2,12	11,70	0,03	0,50	0,30	0,00	4,00
LATOSSOLO VERMELHO	0-20 cm	8,10	5,22	58,70	0,15	3,50	1,30	0,00	3,70
	20-40 cm	1,80	3,38	30,50	0,08	2,10	0,90	0,00	4,00
	40-60 cm	1,40	2,36	20,30	0,05	0,80	0,40	0,00	4,00
	60-80 cm	1,00	1,62	12,50	0,03	0,60	0,30	0,00	4,00

		pH	Mat Org	CTC	S. Bases	V	Ca/ Mg	K/ CTC	Ca/ CTC	Mg/ CTC
			%	cmolc/dm³		%	RELAÇÕES			
PLINTOSSOLO HÁPLICO	0-20 cm	5,50	3,36	8,09	4,29	53,03	2,50	1,13	37,08	14,83
	20-40 cm	5,30	2,15	6,34	2,34	36,92	1,88	0,65	23,66	12,62
	40-60 cm	4,90	1,34	5,43	1,43	26,39	1,80	0,63	16,56	9,20
	60-80 cm	4,80	1,07	4,83	0,83	17,18	1,67	0,62	10,35	6,21
LATOSSOLO VERMELHO	0-20 cm	5,80	3,49	8,65	4,95	57,23	2,69	1,74	40,46	15,03
	20-40 cm	5,30	2,01	7,08	3,08	43,49	2,33	1,10	29,67	12,72
	40-60 cm	4,90	1,21	5,25	1,25	23,84	2,00	0,99	15,23	7,62
	60-80 cm	4,90	1,21	4,93	0,93	18,90	2,00	0,65	12,17	6,08

3.3 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Buscando a correta nutrição das plantas de forma que houvesse a possibilidade de ser avaliado somente a adubação potássica, foi realizada de forma padrão para todas as parcelas do experimento, seguindo as recomendações de Sousa e lobato (2004) para

canaviais com alta expectativa de produção. O nitrogênio foi todo fornecido na forma de sulfato de amônio granulada (60 kg ha^{-1} de N) e o fósforo teve seu fornecimento em sua integralidade na forma de super fosfato triplo (20 kg ha^{-1} de P_2O_5).

O experimento constituiu-se por cinco tratamentos, sendo o primeiro como testemunha, onde não houve adição de fertilizante potássico, ficando somente o fornecimento pela palhada e a própria reserva do solo, o segundo a adubação tradicional e padrão de 200 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl com 60% de K_2O), o terceiro com 85 m^3 ha^{-1} de vinhaça in natura (vinhaça com 1,4 g kg^{-1} de K_2O e uma densidade de 1,143 g mL^{-1}), o quarto com 1200 kg ha^{-1} de pó de rocha - K-forte (rocha sedimentar rica em glauconita com 10% de K_2O) e o quinto tratamento foi adicionado 857 kg ha^{-1} de polissulfato de potássio (polihalita com 14% de K_2O). Todos os tratamentos com fontes de potássio receberam 120 kg ha^{-1} de K_2O de forma superficial como adubação de cobertura sobre a linhada cana, aos 60 dias após a brotação (DAB).

Cada uma das fontes utilizadas possui uma concentração de potássio diferente, além de outros elementos agregados, os quais não foram considerados, pois o objetivo da pesquisa é encontrar uma fonte de potássio que seja viável economicamente e que corresponda na qualidade ou na produção da cana-de-açúcar. Porém para conhecimento e entendimento dos resultados temos que o KCl é composto por 60% de K_2O e aproximadamente 40% de Cl^-, o pó de rocha utilizado (K-Forte), possui 10% de K_2O, 25% de Si e 0,5% de Mg. Já o polissulfato possui em sua composição 14% de K_2O, 19,2% de S, 12% de Ca e 3,6% de Mg. A vinhaça possui valores extraídos do resultado de análise laboratorial do insumo utilizado no experimento, onde possui 1,41% de K_2O, 1% de N, 0,72% de Ca, 0,53% de S e 2% de MO.

As parcelas experimentais apresentavam 10,0 m de comprimento por 15,0 m de largura, totalizando 150 m^2 distribuídos no campo segundo o delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições. As avaliações e observações nas parcelas serão realizadas no centro das mesmas, a qual possuiu 6 metros de comprimento com 6 linhas de cana, totalizando de 54 m^2, o restante da parcela funcionará como bordadura, evitando interferências entre os tratamentos.

3.4 AVALIAÇOES DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO

As avaliações foram realizadas a cada 2 meses, após a brotação dos perfilhos ocorreram medidas biométricas da cultura, contabilizando o número de perfilhos, medindo a espessura dos colmos com o uso de paquímetro, número de entrenós, tamanho dos entrenós e ainda foi realizando a medição da altura das plantas (do solo até a folha bandeira), de forma aleatória em duas plantas dentro da área útil da parcela. Nos mesmos dias foram realizadas as medidas da folha +1 (largura e comprimento), além de ser contado o número de folhas verdes.

3.5 AMOSTRAGEM DE SOLO

As amostras de solos foram retiradas na linha da cana através de um trado manual holandês. Em todas as parcelas foram retiradas uma amostra que foi composta de 4 sub amostras em todas as profundidades.

Aos 180 DAB, foi realizado amostras de solo em profundidades de 0,0 - 0,20 m, 0,20 - 0,40 m, 0,40 - 0,60 m e 0,60 - 0,80 m para análises de fornecimento do nutriente no solo, assim como sua movimentação e percas pelo perfil. Foi realizado ainda, aos 295 dias após a brotação, no momento de colheita da área (em setembro de 2020), uma nova amostragem de solo em todas as parcelas, nas camadas de 0,0 - 0,20 m, 0,20 - 0,40 m, 0,40 - 0,60 m e 0,60 - 0,80 m para determinação da extração do potássio do solo e movimentação no perfil do solo, assim como o residual para o próximo ciclo, visando avaliar a influência dos tratamentos na fertilidade do solo, principalmente os teores de potássio.

3.6 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

Foi realizada a amostragem foliar em setembro de 2020 (momento de colheita da área) para avaliar o estado nutricional das plantas em potássio, a partir da coleta da folha +1, retirando-se os 20 cm centrais da folha sem nervura, em pleno desenvolvimento da cultura, conforme indicação de Raij & Cantarella (1997). Após secagem em estufa a 60° C por duas semanas até estabilizar o peso da amostra, as mesmas foram moídas em moinho tipo Wiley e as determinações dos macros e micronutrientes no tecido vegetal seguiram a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

3.7 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DOS COLMOS

Em setembro de 2020, na ocasião da colheita, foi avaliada a produtividade dos colmos, cortando-os rente ao chão e eliminando as ponteiras, em todas as plantas localizadas na área útil de cada parcela. Dentro da área útil tiramos dois metros de cana no centro das duas linhas centrais da parcela as quais foram pesados todo do material retirado e os valores posteriormente foram extrapolados para toneladas ha^{-1} de colmos. Ainda no momento da colheita foi pesado dez (10) canas cortadas rente ao chão e sem ponteiro, assim como dez (10) ponteiros, todos pegos de forma aleatória dentro da área útil da parcela. Houve ainda durante o momento da colheita a retirada de amostras de colmo, folhas e ponteiros para análise de teores retidos de nutrientes nos mesmos, com ênfase no potássio, e estas amostras, foram lavadas, para retirar possíveis impurezas, e submetidas a estufa de secagem à 60°C por três semanas e posterior a este processo foram moídas e submetida aos testes, para determinação dos índices de nutrientes presentes na amostra.

Para avaliar corretamente a qualidade da matéria-prima é preciso considerar dois aspectos principais, a riqueza da cana em açúcares e o potencial de recuperação dos açúcares da cana. Assim, é preciso entender que para determinar os aspectos principais, é preciso conhecer e avaliar uma série de indicadores que permitem avaliar tanto a riqueza da cana como a qualidade da mesma para a recuperação dos açúcares.

Os principais fatores relacionados à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e que foram analisados são: POL (sacarose aparente), pureza, ATR (açúcares totais recuperados) na cana, teor de açúcares redutores (AR) e Fibra (porcentagem de fibra na cana), analisados os atributos de qualidade industrial da cultura, por meio da amostragem de 10 colmos de cana da linha central de cada parcela. Os colmos foram devidamente identificados e submetidos a um desintegrador. Depois de desintegrado, o material foi homogeneizado e pesado 500 gramas deste material, que posteriormente transferido para uma prensa hidráulica e submetido a uma pressão de 250 kg cm^{-2} durante 1 minuto para extração do caldo, seguindo método proposto por Consecana (2015).

O caldo extraído foi filtrado em algodão hidrófilo, para retirar impurezas. A determinação dos açúcares redutores totais no caldo (ART % caldo), foi obtida através do método proposto por Lane e Eyon (1923). Já a determinação da porcentagem de sólidos solúveis (Brix), porcentagem de fibra da cana-de-açúcar (Fibra % cana), os cálculos de

açúcares redutores totais na cana (ART % cana), pureza e porcentagem de sacarose aparente na cana (Pol % cana), foram embasados no método da Consecana (2015).

3.8 ESTUDO ECONÔMICO

Por fim, tivemos o levantamento das informações acerca dos custos envolvidos com a adubação utilizando as diferentes fontes, realizando um balanço de custo/benefício e um comparativo com o ganho financeiro do aumento de produção, a fim de verificar qual apresenta maior viabilidade econômica.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando o teste de F foi significativo, os tratamentos qualitativos foram comparados por teste de Tukey (5%) e correlação entre variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. QUALIDADE TECNOLÓGICA

Tendo como resultado significativo o tratamento que tem como fornecimento de potássio o pó de rocha foi observado o menor valor de açúcares redutores, deixando o tratamento em destaque perante aos demais, visto que favorece a retirada da sacarose e tornando assim mais rentável. Da mesma forma em que os resultados da tabela 3, podem mostrar, que há variação significativa para açúcares redutores, temos os resultados de Almeida et al. (2015), que avaliando o efeito da adubação potássica em soqueira de cana-de-açúcar cultivada sobre palha em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico, observaram aumento quadrático nos açúcares redutores e pureza do caldo com a variedade RB-855453, assim como neste trabalho também observamos este efeito para o LATOSSOLO VERMELHO.

Tabela 03. Porcentagem de açúcares redutores presentes no caldo da cana, comparando os tratamentos entre si, em dois solos diferentes.

Solo	Tratamento	ARCaldo%		DMS (5%)
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	0,68	a	0,13
	KCl	0,61	a	
	Vinhaça	0,60	a	
	Pó de rocha	0,59	a	
	Polissulfato	0,67	a	
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	0,63	a	0,07
	KCl	0,58	ab	
	Vinhaça	0,60	ab	
	Pó de rocha	0,53	b	
	Polissulfato	0,63	a	

Para o solo 1 não foi observado diferenças significativas, porém é possível observar que o menor valor de açúcares redutores também foi para o tratamento de pó de rocha.

O indicador de AR (açúcares redutores), exerce maior influência, quando aplicada para apuração do preço da cana, pois quando o valor da pureza do caldo for baixo, o valor de AR será o mais alto, por outro lado, quando a pureza do caldo for elevada, o valor de AR será o mais baixo (Consecana, 2015). Conforme as normas de qualidade da matéria-prima redigidas pelo Consecana (2015), estabelecem que as unidades industriais só podem recusar o recebimento de carregamentos com pureza abaixo de 75%, assim é observado que todos os tratamentos estão dentro do esperado para qualidade tecnológica.

As diferentes fontes de potássio testadas não influenciaram significativamente os atributos tecnológicos da cana-de açúcar como o Brix (teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo), PBU (peso do bolo úmido) e fibra como podemos observar melhor na tabela 04. Da mesma forma que Pancelli et al. (2015), não encontraram efeito significativo da aplicação de potássio para as variáveis tecnológicas: Fibra e Brix, as quais apresentaram valores médios de 12,0 e 22,0%, respectivamente, bastante próximo aos valores encontrados neste trabalho.

Tabela 04. Resultados das análises tecnológicas de brix, peso do bolo úmido e da porcentagem de fibra.

Tratamento	**Solo**	**Brix**	**PBU**	**Fibra**	**Solo**	**Brix**	**PBU**	**Fibra**
		Graus	g	%		Graus	g	%
Testemunha	PLINTOSSOLO HÁPLICO	21,5	156,3	13,4	LATOSSOLO VERMELHO	23,2	164,9	14,2
KCl		21,0	146,1	12,6		22,6	165,1	14,1
Vinhaça		21,4	152,7	13,1		23,0	172,8	14,7
Pó de rocha		20,6	149,6	12,8		23,5	171,0	14,6
Polissulfato		21,8	148,1	12,7		22,7	162,4	13,9
	p	0,62	0,40	0,40	p	0,12	0,41	0,41
	CV	1,67	5,08	4,74	CV	2,20	4,97	4,68

Um ponto importante, é a fibra encontrada no solo 2, que estão acima dos valores recomendados, onde segundo Ripoli e Ripoli (2004) a referência para este indicador está entre 11 e 13%, sabendo que a fibra é o constituinte insolúvel do colmo representado pela

celulose, hemicelulose, lignina, etc, ou seja, a fibra estrutural, que dificulta a extração do caldo na indústria, desta forma, temos que apesar dos tratamentos não serem diferentes estatisticamente, mas todos estão com valores que desfavorecem as qualidades tecnológicas da cana, porem o valor de fibra mais alto favorece a geração de bagaço, o que para muitos é uma fonte de renda importante pela geração de energia, além de canas com maior teor de fibra, proporciona uma planta mais ereta e com menor risco de tombamento.

Em relação à qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar, Otto et al. (2010) obtiveram resultados muito semelhantes aos vistos no presente estudo, onde eles observaram efeito das doses de K para a pureza e para os açúcares recuperáveis, que apresentaram regressão quadrática significativa, de modo diretamente proporcional às doses para pureza, e inversamente proporcional, para o AR. A pureza do caldo é a quantidade de pol (polarização) em relação ao brix (teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo), expressa em porcentagem, e esta pureza, quanto maior melhor, todos os tratamento e nos dois tipos de solo tiveram resultados maiores que o parâmetro desejado, e no solo 2 houve diferença significativa para o tratamento pó de rocha onde obteve maior resultado, seguidos dos resultados do cloreto de potássio e da vinhaça, como é possível observar na tabela 05.

Tabela 05. Análise estatística para diferentes fontes de potássio com efeito sobre a pureza do caldo extraído em análise tecnológica, comparados em teste de médias, em um LATOSSOLO VERMELHO.

Solo	Tratamento	Pureza%		CV	DMS
LATOSSOLO VERMELHO	Pó de rocha	90,60	a	1,34	2,34
	KCl	89,38	ab		
	Vinhaça	88,72	ab		
	Polissulfato	87,85	b		
	Testemunha	87,75	b		

Para definir o teor de sacarose da cana é necessário do indicador chamado pol, que é a porcentagem em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada de peso normal determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada (Consecana, 2015).

Para porcentagem de sacarose na cana (Pol%) (tabela 6), observasse efeito significativo para a variável de pó de rocha, as demais fontes de potássio não apresentaram o mesmo efeito. O pol juntamente com o brix medem a pureza do caldo extraído da moagem da cana-de-açúcar e ambos medem a quantidade de pol encontrada na cana e o teor de sacarose da cana. Para a indústria canavieira, quanto mais elevados os teores de sacarose melhor, assim sendo é de grande relevância observar que os resultados mostram que para solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO a aplicação de pó de rocha como fornecimento de potássio, causa efeito significativo no resultado deste indicador. Da mesma forma que é possível observar na tabela 006, o comportamento dos resultados para LS (leitura sacarimétrica), indicador que é utilizado na determinação dos açúcares na usina e destilaria, para determinar níveis de sacarose e com isso qualificar a amostra de cana-de-açúcar.

Tabela 06. Quantidade de sacarose encontrada através da leitura do sacarímetro e corrigida conforme temperatura correta de trabalho e porcentagem em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada de peso normal determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada.

Solo	Tratamento	Leitura sacarimétrica		Pol%Caldo	
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	85,77	b	20,37	b
	KCl	84,85	b	20,21	b
	Vinhaça	85,71	b	20,38	b
	Pó de rocha	89,83	a	21,31	a
	Polissulfato	83,65	b	19,92	b
DMS (10%)		4,03		2,34	
CV		2,39		2,22	

Concluindo a parte tecnológica temos o ATR (Açúcar total recuperável) que nada mais é do que a soma dos açúcares da cana (sacarose, glicose e frutose), que teoricamente, podem recuperáveis pelas unidades industriais. É também o parâmetro que define a qualidade da cana-de-açúcar no Sistema CONSECANA-SP, o qual define preços aos produtores e consequentemente rentabilidade dos produtores, no caso do deste trabalho podemos observar na figura 02, que quando é comparado o tratamento significativo (pó de rocha) à testemunha temos aproximadamente um valor de R$ 5,00 por tonelada de cana a

mais, o que significa muito para o produtor de cana, e quando comparamos com o pior resultado (polissulfato) obtido esse número chega a próximo de R$ 6,30 por tonelada de cana.

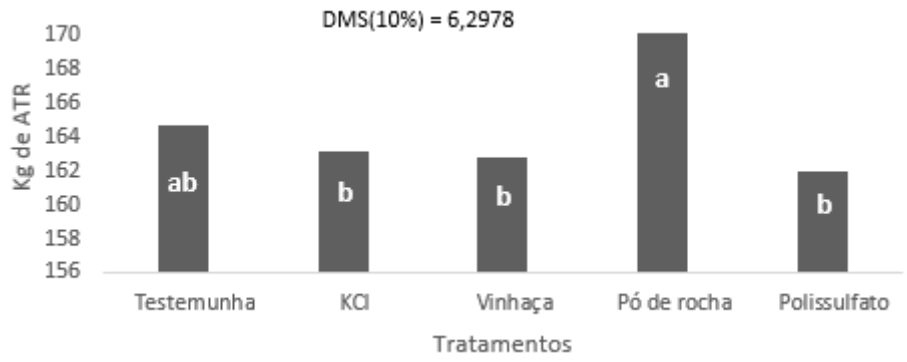


Figura 02. Indicador que representa a quantidade total de açúcares da cana em kg t^{-1} (ATR), comparado em teste de médias.

4.2 PERFILHAMENTO

O comportamento do perfilhamento da cana-de-açúcar, na presente pesquisa, reforça o que é relatado na literatura, apresentando um pico de produção de perfilhos na fase vegetativa e com queda progressiva até a colheita, como é possível observar na tabela 07. Isso muito devido a maior competição intraespecífica, principalmente em relação a radiação solar (Marin et al., 2009).

Tabela 07. No número de colmos de cana-de-açúcar cultivada em um PLINTOSSOLO HÁPLICO e em um LATOSSOLO VERMELHO, com fontes de potássio.

Solo	**Tratamento**	**N° de perfilhos**		
		Maio	**Julho**	**Setembro**
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	73,8	63,6	72,8
	KCl	69,6	65,6	72,2
	Vinhaça	73,2	68,0	72,8
	Pó de rocha	61,2	67,0	76,0
	Polissulfato	70,6	65,6	76,8
	Testemunha	80,0	79,0	72,8

LATOSSOLO VERMELHO	KCl	75,8	69,8	80,6
	Vinhaça	84,4	72,8	72,8
	Pó de rocha	76,0	77,8	73,2
	Polissulfato	83,4	76,8	69,8
DMS (5%) = 23,53				

Assim como nos experimentos de Souza et al (2009), é possível observar, na tabela 7, que o tratamento com pó de rocha glauconita (siltito glauconítico), em um solo mais restritivo, se comportou de forma que manteve o desenvolvimento dos perfilhos ao longo de todo o período do ciclo do canavial, ou seja, houve um aumento continuo do número de colmos, porem mesmo tendo este comportamento, ao final não se diferiu dos demais tratamentos.

Diversos trabalhos na literatura, como Silva (2010), que mostram em seus resultados que o número de colmos não possuem diferenças significativas independentemente da quantidade de potássio fornecido, assim é possível verificar no presente trabalho que apesar da oscilação característica deste indicador devido a competição por luz, também não aconteceu diferenças significativas dentre os diferentes fornecimentos de K_2O ao fim do experimento, porem houve em todos os tratamentos um número satisfatório de colmos por metro.

4.3 PRODUÇÃO DE COLMOS

Uma observação pertinente é a produção de colmos (t ha^{-1}) para cada fonte de potássio, assim como o comparativo com a área sem adição de potássio. Onde são observados efeitos significativos estatisticamente para os tratamentos com polissulfato e KCl, assim foi possível observar ganhos de até quatorze (14) toneladas de cana, da área sem adição de potássio, para o KCl no solo 2 e de até doze (12) toneladas de cana para o polissulfato no solo 1, na área sem adição do nutriente, esta diferença pode ser considerada ao se tratar de um ganho para o produtor de aproximadamente mil e cinquenta reais (R$ 1.050,00) por hectare de cana. Podemos também observar na tabela 8, que a vinhaça não alcançou bons resultados em ambos os solos trabalhados, da mesma forma que é possível verificar efeito do cloreto e do polissulfato nos dois solos, desta forma é possível compreender a importância do potássio na produção de cana-de-açúcar, principalmente na

produção de colmos, visto que o efeito do fornecimento do nutriente é significativo para obter maior produção (Otto et al., 2010), e também a solubilidade do potássio sendo um diferencial, pois as fontes mais solúveis aplicadas em um ano de baixo índice pluviométrico (figura 1), proporcionou melhores produções. É válido ressaltar que mesmo sem a adição de potássio existe a presença da palhada, que segundo Andrade (2018) pode ocorrer liberação de 50% do nutriente em aproximadamente 70 dias, sendo assim de disponibilidade rápida.

Tabela 08. Produção de colmos por hectare, em diferentes fornecedores de potássio em dois solos (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), sendo as fontes de potássio testadas dentro de cada solo por testes de médias e comparados por Tukey.

Solo	Tratamento	TCH kg t^{-1}		DMS
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	87,66	bc	10,90
	KCl	90,05	ab	
	Vinhaça	77,54	c	
	Pó de rocha	93,80	ab	
	Polissulfato	99,72	a	
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	130,25	ab	15,60
	KCl	144,76	a	
	Vinhaça	116,17	bc	
	Pó de rocha	107,04	c	
	Polissulfato	135,79	a	

A precipitação pluviométrica acumulada durante o ciclo de cultivo de cana-de-açúcar foi muito abaixo das médias esperadas e do necessário para a produção de cana-de-açúcar, com 1.031mm no ciclo, sendo que 96% do volume precipitado concentrado entre os meses de novembro a abril (Figura 1). Boa parte desse volume de água não foi aproveitada pela cultura, uma vez que ultrapassaram a capacidade de campo, assim como mencionado por Benedetti (2014). Segundo Brito (2006), para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar é necessário ter disponibilidade hídrica entre 1.200 e 1.800 mm, com temperatura média por volta de 30 a 34°C, sendo que abaixo de 25°C e acima de 38°C o crescimento é muito lento,

e a temperatura média anual no experimento foi de 24,7°C, sendo que as temperaturas máximas registradas foram 32°C, explicando assim limitações produtivas.

4.4 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

A aplicação de potássio na soqueira de cana-de-açúcar causou efeito significativo na produção de matéria seca de forma proporcional aos resultados da produção de colmos nos dois tipos de solo, com o efeito dos tratamentos de KCl e polissulfato. Como é possível verificar na tabela 9, a aplicação de diferentes fontes potássio incrementou a produção de matéria seca de colmos, indicando variabilidade dos resultados com importância agronômica e financeira.

Tabela 09. Produção de matéria seca dos colmos, em diferentes fornecedores de potássio em dois solos (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), sendo as fontes de potássio testadas dentro de cada solo por testes de médias e comparados por Tukey.

Solo	Tratamento	TCH kg t^{-1}		DMS
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	28,98	bc	3,60
	KCl	29,772	ab	
	Vinhaça	25,638	c	
	Pó de rocha	31,01	ab	
	Polissulfato	32,966	a	
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	43,058	ab	5,20
	KCl	47,856	a	
	Vinhaça	38,404	bc	
	Pó de rocha	35,386	c	
	Polissulfato	44,89	a	

Assim como Pancelli (2011), que obteve de 39 a 46 toneladas de matéria seca nos colmos por hectare, no presente trabalho houve produções no solo 2 que estão no mesmo patamar da literatura, onde foi encontrado valores de 35 a 47 toneladas de matéria seca por hectare. Já no solo 1 os valores de matéria seca encontrados são inferiores, quando

comparados ao outro solo trabalhado neste experimento e também quando comparado à literatura, porem isto se justifica, por ser um solo que devido sua estrutura, tende a secar mais rapidamente e assim proporciona um déficit hídrico mais rapidamente e com isso um menor desenvolvimento dos colmos.

4.5 ESTADO NUTRICIONAL

Observou-se que a aplicação de diferentes fontes de fornecimento de potássio na primeira soqueira de cana-de-açúcar apresentou diferença significativa no estado nutricional da planta para fósforo no PLINTOSSOLO HÁPLICO e para cálcio no LATOSSOLO VERMELHO, porém as diferenças foram pequenas agronomicamente pensando no estado nutricional da planta. Conforme é possível observar na tabela 10 verificou-se que os teores médios dos nutrientes nas folhas foram de N, P, K, Ca, Mg e S. Os micronutrientes apresentaram diferença significativa para zinco no PLINTOSSOLO HÁPLICO e para boro no LATOSSOLO VERMELHO, como é possível observar na tabela 11 para os micronutrientes B, Cu, Fe e Zn. É possível afirmar que tanto os macronutrientes, quanto os micronutrientes analisados possuem valores médios em todos os tratamentos dentro de uma faixa de suficiência e fora de um nível crítico para acultura da cana-de-açúcar, segundo recomendado por Raij e Cantarella (1997). Assim os demais nutrientes avaliados nos dois solos não foram influenciados pela aplicação das fontes de K.

Tabela 10. Teores nutricionais para macronutrientes da folha +1, em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), em diferentes fontes de potássio.

Solo	Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg^{-1}					
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	24,0 a	1,09 b	15,2 a	3,46 a	0,58 a	1,04 a
	KCl	22,5 a	1,14 ab	16,2 a	3,51 a	0,51 a	0,86 a
	Vinhaça	24,2 a	1,14 ab	15,4 a	3,53 a	0,59 a	0,97 a
	Pó de rocha	29,6 a	1,18 a	14,8 a	3,84 a	0,65 a	1,59 a
	Polissulfato	24,4 a	1,17 ab	15,4 a	3,53 a	0,65 a	1,01 a
p		0,14	0,06	0,15	0,43	0,74	0,05
CV		18,1	8,3	10,1	9,3	24,3	16,9
DMS (10%)		8,92	0,19	3,06	0,65	0,29	0,30
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	28,8 a	1,24 a	14,1 a	4,96 a	0,62 a	3,29 a
	KCl	22,2 a	1,15 a	13,2 a	3,58 ab	0,49 a	3,91 a

Vinhaça	19,8 a	1,17 a	14,4 a	3,30 b	0,57 a	3,83 a
Pó de rocha	21,7 a	1,25 a	14,0 a	4,01 ab	0,59 a	4,60 a
Polissulfato	19,8 a	1,30 a	16,4 a	4,34 ab	0,49 a	4,51 a
p	0,15	0,69	0,40	0,04	0,97	0,44
CV	28,1	13,7	14,5	18,4	38,5	47,3
DMS (10%)	12,23	0,33	3,93	1,31	0,41	3,61

É importante observar que mesmo alguns micronutrientes não apresentando diferença significativa estatisticamente entre os tratamentos, como o caso cobre e do ferro em ambos os solos, é perceptível que houve grande variação do nutriente entre tratamentos, podendo ser significativo no estado nutricional, o que pode acarretar em ganhos produtivos ou mesmo plantas mais equilibradas, o que pode também proporcionar também sanidade além de mudanças na fisiologia da cultura.

Tabela 11. Teores nutricionais para micronutrientes da folha +1, em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), em diferentes fontes de potássio.

Solo	**Tratamentos**	**B**	**Cu**	**Fe**	**Zn**
		mg kg^{-1}			
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	13,97 a	5,05 a	263,4 a	9,16 ab
	KCl	17,59 a	4,82 a	225,2 a	8,28 b
	Vinhaça	14,25 a	5,87 a	239,0 a	9,42 ab
	Pó de rocha	15,06 a	8,66 a	308,6 a	11,90 a
	Polissulfato	16,46 a	5,62 a	244,2 a	7,96 ab
p		0,54	0,29	0,19	0,07
CV		22,9	47,5	27,0	21,7
DMS (10%)		7,09	5,32	134,06	3,92
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	13,76 a	7,07 a	264,6 a	11,92 a
	KCl	9,87 b	4,12 a	231,6 a	10,42 a
	Vinhaça	10,96 ab	6,09 a	195,2 a	12,60 a
	Pó de rocha	10,22 ab	6,71 a	199,8 a	12,82 a
	Polissulfato	10,75 ab	3,96 a	232,4 a	11,40 a
p		0,06	0,12	0,45	0,79
CV		18,2	41,7	27,4	30,2
DMS (10%)		4,13	4,93	121,61	6,46

De acordo com a literatura e trabalhos científicos como (Almeida, 2013; Silva, 2010; Raij e Cantarella, 1997) o nível ideal de potássio na folha é de 10-16 g kg^{-1}, assim é possível observar que os níveis encontrados neste trabalho estão dentro da normalidade e qualidade considerável.

É importante salientar que durante todo o ciclo da cultura não foram encontrados sintomas visuais de deficiência nutricional na cana-de-açúcar.

Possivelmente, as pequenas diferenças entre os teores de alguns nutrientes obtidos neste trabalho e os de algumas literaturas, estão relacionadas às condições edafoclimáticas e de comportamento individual da cultivar utilizada que pode possuir produtividade distinta das trabalhadas por outros autores, ou seja, áreas de alto potencial produtivo podem diluir os nutrientes nos tecidos. No efeito de diluição, a concentração dos nutrientes diminui no tecido vegetal com o maior crescimento da planta (Jarrell & Beverly, 1981).

4.6 ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DO POTÁSSIO

Houve efeito significativo no acúmulo e no teor de potássio nos colmos em função da sua aplicação na soqueira de cana-de-açúcar. Silva (2010), trabalhando com aplicação de potássio na primeira soqueira da variedade IAC SP 93-3046, observando incremento linear no teor e acúmulo de potássio nos colmos. Como é possível observar na tabela 12, o trabalho obteve valores iguais ou maiores para teor de potássio nos colmos, quando comparado aos resultados de Silva (2010) que estavam entre 2 e 3 g kg^{-1}, e igual ou próximo para os colmos que neste trabalho ficou entre 1,9 e 3,2 g kg^{-1} no solo 2 e superior no solo 1 onde foi obtido valores entre 3 e 8 g kg^{-1}.

Tabela 12. Acúmulo de Potássio nos colmos em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), para diferentes fontes de fornecimento de potássio.

Experimento	Tratamentos	K g kg^{-1}	K kg ha^{-1}	K kg t^{-1}
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	3,00 b	87,66 c	1,00
	KCl	7,04 a	209,24 ab	2,32
	Vinhaça	6,76 a	174,56 b	2,25

	Pó de rocha	6,64 a	205,68 ab	2,19
	Polissulfato	8,08 a	264,97 a	2,66
CV		18,10	17,63	
DMS (5%)		2,21	64,38	
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	2,80 ab	119,79 a	0,92
	KCl	1,92 b	92,06 a	0,64
	Vinhaça	2,96 ab	113,37 a	0,98
	Pó de rocha	3,20 a	113,24 a	1,06
	Polissulfato	2,48 ab	111,00 a	0,82
CV		22,51	24,73	
DMS (5%)		1,17	52,72	

Andrade (2018) observou acúmulo de potássio entre 127-212 kg ha^{-1} nos colmos. O acúmulo de potássio observado pela mesma autora nos colmos foi próximo aos encontrados neste trabalho (87-264 kg ha^{-1}).

A acúmulo de potássio variou de 0,64-2,66 kg t^{-1} na matéria seca nos colmos, considerando-se a produção de colmos de 77 a 144 t ha^{-1}, enquanto, Raij e Cantarella (1997) relataram a exportação de potássio nos colmos de 1,10 kg t^{-1}, com a produção de 60-120 t ha^{-1}. Assim temos a observação de que os valores encontrados nesta pesquisa estão coerentes com o que diz a literatura, visto que a média geral do trabalho está em 1,48 kg t^{-1}, e esta diferença é, provavelmente, explicada pelo efeito de diluição de nutrientes, pois o estado nutricional causa efeito indireto no acúmulo de nutrientes da planta e com a produção maior deste trabalho, quando comparado a literatura exemplificada.

Analisando especificamente a extração e exportação do potássio em função das diferentes fontes de fornecimento do nutriente e dos diferentes tipos de solo (tabela 12), é possível observar que no solo 1 as fontes de fornecimento tiveram o mesmo comportamento, quanto a presença do nutriente no colmo, mesmo que houve em alguns tratamentos uma média uma exportação por hectare muito maior e com diferenças significativas, ao se tratar da média de exportação por tonelada de cana (kg t^{-1}) houve uma semelhança dos tratamentos, ficando estatisticamente semelhantes, tendo de forma destacada o tratamento controle, onde não ocorreu o fornecido do potássio de forma direta. Já o solo 2, apesar de acumular menos potássio em seu colmo, temos uma média de taxa de exportação por tonelada de cana próxima ao que a literatura afirma, pois neste trabalho foi encontrado valores entre (0,64-

1,06 kg t^{-1}), visto que na literatura afirma resultados na média de 1,10 kg t^{-1} (Raij e Cantarella, 1997). Estes resultados podem ser explicados por o solo 2 estar mais balanceado, proporcionando assim uma melhor distribuição de nutrientes na planta, tornando-as mais produtivas, do que as do solo 1.

Sabendo que o teor percentual do elemento dado pela análise química do tecido vegetal multiplicado pela quantidade de cana (massa) produzida em um hectare indica a quantidade do elemento que seria necessário aplicar para a adubação de restituição dos elementos extraídos e exportados do solo, assim pode-se dizer que é entendido que no solo 1 existe a necessidade de uma adubação melhor em volume e distribuição, visto que adubações que apenas restituem os teores extraídos não contribuem para a melhoria da fertilidade do solo.

Ao analisar a extração de potássio nos dois solos é possível observar que no solo 1, onde houve "consumo de luxo", onde foi mais absorvido pela planta sem mesmo refletir na produção e assim exportando a grande parte do K absorvido (tabela 13), chegando a exportar 21% do K absorvido, já no solo 2 a exportação ficou em uma média de 9%. Estes resultados são importantes porque revela que a cana-de-açúcar necessita de uma quantidade mínima de potássio na parte aérea para manter seu metabolismo, sendo "a sobra" acumulada no colmo.

Tabela 13. Exportação de potássio da parte aérea, e porcentagem de exportação, em dois solos diferentes (PLINTOSSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO VERMELHO), para diferentes fontes de fornecimento de potássio.

Experimento	Tratamentos	Folha	Ponteiro	Colmo	Extração	
		K em g kg^{-1}			folha+ponteiro	Colmo
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	14,25 a	14,70 a	3,00 b	91%	9%
	KCl	16,90 a	15,60 a	7,04 a	82%	18%
	Vinhaça	14,55 a	15,85 a	6,76 a	82%	18%
	Pó de rocha	15,50 a	15,60 a	6,64 a	82%	18%
	Polissulfato	16,25 a	14,75 a	8,08 a	79%	21%
	p	0,15	0,67	0,19		
	CV	10,1	9,07	44,5		
	DMS (5%)	3,1	2,72	2,2		
	Testemunha	12,75 a	14,70 a	2,80 ab	91%	9%

LATOSSOLO VERMELHO	KCl	13,60	a	12,75	a	1,92	b	93%	7%
	Vinhaça	12,85	a	12,55	a	2,96	ab	90%	10%
	Pó de rocha	15,05	a	15,85	a	3,20	a	91%	9%
	Polissulfato	14,70	a	12,30	a	2,48	ab	92%	8%
	p	0,40		0,71		0,56			
	CV	14,5		18,9		44,0			
	DMS (5%)	3,9		3,6		1,2			

O K^+ é o cátion mais abundante na planta e tem alta exigência no citoplasma para garantir ótima atividade enzimática (Epstein e Bloom, 2006). Os principais papeis do K são: translocação de açúcares, abertura e fechamento dos estômatos e regulação osmótica. Na cana-de-açúcar, a deficiência em K diminui o movimento dos açúcares da folha para o colmo, (Malavolta, 2006). Desta forma é possível que a cana-de-açúcar tenha necessidade de manter uma concentração mínima de K na parte aérea, a fim de exercer todo o metabolismo da planta, sendo o excesso transloucado para o colmo. Pelo exposto, houve diferença na exportação de potássio nos dois solos 188 e 109 kg ha^{-1} (solo 1 e 2 respectivamente), tendo ainda diferenças significativas entre os tratamentos nos dois tipos de solo.

4.7 POTÁSSIO NO SOLO

As aplicações das fontes de potássio no solo influenciaram os teores desse nutriente na camada de 0-0,2 m no solo 1 porém para o mesmo solo nas camadas avaliadas (0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m de profundidade) aos 180 dias após a brotação (DAB) (tabela 14), apesar de apresentarem diferenças significativas pela estatística, visto que o CV foi muito baixo, porem agronomicamente as diferenças foram pequenas e todas continuam sendo consideradas baixas para a agricultura da cana-de-açúcar.

Tabela 14. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um PLINTOSSOLO HÁPLICO aos 180 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.

Profundidade	**Tratamento**	**Teor de K** mg/dm^3	**DMS (10%)**	**CV**
00-20 cm	Testemunha	67,0 d	0,25	0,16
	KCl	113,7 a		
	Vinhaça	85,9 b		
	Pó de rocha	67,0 d		

	Polissulfato	68,1 c		
20-40 cm	Testemunha	31,8 e	0,25	0,35
	KCl	36,3 b		
	Vinhaça	46,8 a		
	Pó de rocha	34,4 c		
	Polissulfato	32,2 d		
40-60 cm	Testemunha	24,0 d	0,25	0,48
	KCl	29,2 b		
	Vinhaça	35,1 a		
	Pó de rocha	24,6 c		
	Polissulfato	20,4 e		
60-80 cm	Testemunha	19,7 c	0,25	0,66
	KCl	24,2 a		
	Vinhaça	15,9 e		
	Pó de rocha	20,7 b		
	Polissulfato	17,3 d		

É perceptível diferença de potássio no solo para a camada de 0-0,2 m onde o tratamento de KCl proporcionou aumento do nível de potássio no solo, porem mesmo com esse aumento o teor de K no solo ainda é classificado como baixo segundo Flores (2016). O mesmo acontece quando é analisado aos 295 DAB (tabela 15), visto que na camada de 0-0,2 m todos os tratamentos que forneceram K diferiram da testemunha, porem este acréscimo no nível de potássio não o faz mudar de faixa em seu teor, assim continuando a ser baixo, segundo Flores (2019), e necessitar de adubação para alcançar boas produtividades.

Tabela 15. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um PLINTOSSOLO HÁPLICO aos 295 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.

Profundidade	**Tratamento**	**Teor de K** mg/dm^3	**DMS (10%)**	**CV**
00-20 cm	Testemunha	64,23 b	32,07	19,61
	KCl	97,78 a		
	Vinhaça	79,68 ab		
	Pó de rocha	89,10 ab		
	Polissulfato	86,23 ab		

	Testemunha	48,48 b		
	KCl	70,40 a		
20-40 cm	Vinhaça	47,78 b	16,37	16,34
	Pó de rocha	43,20 b		
	Polissulfato	45,65 b		
	Testemunha	41,43 a		
	KCl	29,83 a		
40-60 cm	Vinhaça	26,90 a	16,43	25,79
	Pó de rocha	30,53 a		
	Polissulfato	33,73 a		
	Testemunha	31,77 a		
	KCl	20,45 b		
60-80 cm	Vinhaça	16,78 b	6,87	17,00
	Pó de rocha	18,65 b		
	Polissulfato	15,43 b		

Este potássio que ficou no solo, apesar de não ser o suficiente para mudar o teor do elemento de faixa, mas houve acréscimo, o que valoriza a atividade de fornecer K no solo e com repetidos fornecimentos ou doses maiores é possível melhorar o solo em suas características para potássio, isso pode ser observado no tabela 16, que apresenta a saturação de K na CTC do solo e estes valores apresentam que as fontes (KCl, pó de rocha e polissulfato) se mostraram eficientes na camada de 0-0,2 m, ao ponto de alcançarem valores que começam a ser satisfatório (2,25; 2,28 e 2,10), considerando que a faixa ideal é de 2 a 3% de saturação segundo Sousa e Lobato (2004). É possível perceber que de forma geral a maioria dos tratamentos, e nos dois solos avaliados, estão em uma faixa média (1 a 2%) segundo Sousa e Lobato (2004).

Tabela 16. Saturação de potássio na CTC para o PLINTOSSOLO HÁPLICO durante o período do experimento, variando entre os meses para cada profundidade do solo e tratamento.

Profundidade	Tratamento	Janeiro	Maio	Setembro
	Testemunha	1,13%	1,51%	1,51%
	KCl	1,13%	2,54%	2,25%
00-20 cm	Vinhaça	1,13%	1,94%	1,78%
	Pó de rocha	1,13%	1,67%	2,28%
	Polissulfato	1,13%	1,67%	2,10%

20-40 cm	Testemunha	0,65%	1,09%	1,38%
	KCl	0,65%	1,17%	1,93%
	Vinhaça	0,65%	1,55%	1,49%
	Pó de rocha	0,65%	1,16%	1,34%
	Polissulfato	0,65%	1,19%	1,43%
40-60 cm	Testemunha	0,63%	0,87%	1,31%
	KCl	0,63%	1,02%	1,09%
	Vinhaça	0,63%	1,30%	0,98%
	Pó de rocha	0,63%	0,93%	1,09%
	Polissulfato	0,63%	0,81%	1,12%
60-80 cm	Testemunha	0,62%	0,76%	1,15%
	KCl	0,62%	1,03%	0,77%
	Vinhaça	0,62%	0,61%	0,64%
	Pó de rocha	0,62%	0,85%	0,74%
	Polissulfato	0,62%	0,73%	0,61%

No solo 2 (LATOSSOLO VERMELHO) o efeito dos tratamentos foi ainda mais padronizado, e apesar de estatisticamente apresentar diferenças, na pratica agronômica todos os tratamentos e nos dois momentos amostrados, o potássio se apresenta em níveis baixos (Flores, 2016), sendo que aos 180 DAB (tabela 17), apesar de serem números pequenos, mas o tratamento com KCl foi estatisticamente superior, na camada de 0-0,2 m de profundidade, e o fornecimento pelo pó de rocha sendo o pior índice. Já na camada de 0,2-0,4 m de profundidade a vinhaça apresentou melhor resultado e a testemunha (sem fornecimento de K), o pior resultado.

Tabela 17. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um LATOSSOLO VERMELHO aos 180 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.

Profundidade	**Tratamento**	**Teor de K** mg/dm^3	**DMS (10%)**	**CV**
00-20	Testemunha	31,40 d	0,25	0,37
	KCl	43,33 a		
	Vinhaça	35,13 c		

	Pó de rocha	28,20 e		
	Polissulfato	36,45 b		
	Testemunha	31,80 e		
	KCl	36,33 b		
20-40	Vinhaça	46,83 a	0,25	0,70
	Pó de rocha	34,40 c		
	Polissulfato	32,15 d		
	Testemunha	19,70 b		
	KCl	20,63 a		
40-60	Vinhaça	16,33 e	0,25	0,98
	Pó de rocha	17,20 d		
	Polissulfato	17,65 c		
	Testemunha	12,60 b		
	KCl	13,23 a		
60-80	Vinhaça	11,23 c	0,25	1,09
	Pó de rocha	10,60 e		
	Polissulfato	10,95 d		

Aos 295 dias DAB (tabela 18), os resultados foram muito parecidos para as camadas 0-0,2; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m de profundidade, já na camada de 0,2-0,4 m o polissulfato foi o fornecedor de potássio que obteve estatisticamente o melhor resultado, apresentando assim uma melhora nos teores do nutriente no solo.

Tabela 18. Teores de potássio em quatro profundidades do perfil do solo para diferentes fontes de fornecimento do nutriente em um LATOSSOLO VERMELHO aos 295 DAB, comparado por teste de médias separadamente em cada profundidade.

Profundidade	**Tratamento**	**Teor de K** mg/dm^3	**DMS (10%)**	**CV**
	Testemunha	39,70 b		
	KCl	58,28 a		
00-20	Vinhaça	46,53 ab	11,90	13,08
	Pó de rocha	42,05 b		
	Polissulfato	45,45 b		

	Testemunha	29,78 ab		
	KCl	29,03 ab		
20-40	Vinhaça	25,93 b	7,56	13,19
	Pó de rocha	26,38 b		
	Polissulfato	35,03 a		
	Testemunha	17,50 ab		
	KCl	18,95 a		
40-60	Vinhaça	15,75 b	3,14	9,33
	Pó de rocha	16,88 ab		
	Polissulfato	16,70 ab		
	Testemunha	11,83 a		
	KCl	12,00 a		
60-80	Vinhaça	10,95 a	1,66	7,16
	Pó de rocha	12,40 a		
	Polissulfato	11,80 a		

Os valores de saturação de potássio na CTC para o solo 2 (tabela 19), demonstram que na camada de 0-0,2 m de profundidade obtiveram uma piora na saturação de K, entre o início e o fim do estudo, com isso é preciso entender que o solo 2 produziu mais por ser um solo mais balanceado, porem esta alta produção proporcionou uma exaustão do potássio do solo, fazendo com que esta área, em todos os tratamentos, tivesse uma diminuição (piora) na quantidade de potássio presente no solo assim como a saturação de K na CTC. Porém é válido salientar que na realidade do solo 2 a planta foi mais produtiva e com isso é possível perceber que usufruiu melhor dos nutrientes disponíveis.

Tabela 19. Saturação de potássio na CTC para o LATOSSOLO VERMELHO durante o período do experimento, variando entre os meses para cada profundidade do solo e tratamento.

Profundidade	Tratamento	Janeiro	Maio	Setembro
	Testemunha	1,74%	0,96%	1,04%
	KCl	1,74%	1,33%	1,46%
00-20 cm	Vinhaça	1,74%	1,07%	1,27%
	Pó de rocha	1,74%	0,86%	1,11%
	Polissulfato	1,74%	1,04%	1,13%

20-40 cm	Testemunha	1,10%	1,09%	0,93%
	KCl	1,10%	1,17%	0,95%
	Vinhaça	1,10%	1,55%	0,91%
	Pó de rocha	1,10%	1,16%	0,85%
	Polissulfato	1,10%	1,19%	1,02%
40-60 cm	Testemunha	0,99%	0,68%	0,64%
	KCl	0,99%	0,74%	0,69%
	Vinhaça	0,99%	0,61%	0,58%
	Pó de rocha	0,99%	0,62%	0,63%
	Polissulfato	0,99%	0,62%	0,62%
60-80 cm	Testemunha	0,65%	0,52%	0,48%
	KCl	0,65%	0,58%	0,49%
	Vinhaça	0,65%	0,47%	0,46%
	Pó de rocha	0,65%	0,44%	0,50%
	Polissulfato	0,65%	0,49%	0,46%

Os teores de K no solo 1 aumentaram quando comparado ao teor inicial em todas as profundidades estudadas do solo, e em todos os tratamentos (tabela 20), chegando na profundidade de 0,2-0,4 m ter um ganho de 400%, no tratamento com o uso do cloreto de potássio. As camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 tiveram como principal fonte de potássio o KCl, muito por se a fonte mais solúvel e isso muito provavelmente proporcionou um aumento do teor de K nas camadas mais superficiais. Com estes incrementos no teor de potássio tivemos que este solo mudou sua faixa de interpretação, deixando de ser considerado médio (situação inicial) e se tornando adequado ao final do ciclo da cultura, segundo tabela de interpretação de Sousa e Lobato (2004). Já nas camadas mais profundas (0,4-0,6 e 0,6-0,8), apresentaram um resultado onde o tratamento que não houve inserção de potássio obteve os maiores saldos residuais, este acontecimento pode ser explicado pelo fato de ser o tratamento que acumulou menor quantidade de potássio em seus colmos assim como teve uma das menores produções do trabalho.

Tabela 20. Teores de potássio no solo variando conforme profundidade e tratamentos, durante o período de 30, 180 e 295 dias após a brotação em um PLINTOSSOLO HÁPLICO.

Profundidade	Tratamento	Janeiro	Maio	Setembro
			mg/dm³	
0,0-0,2 m	Testemunha	35,6	67,0	64,2
	KCl	35,6	113,7	97,8
	Vinhaça	35,6	85,9	79,7
	Pó de rocha	35,6	67,0	89,1
	Polissulfato	35,6	68,1	86,2
0,2-0,4 m	Testemunha	16,0	31,8	48,5
	KCl	16,0	36,3	70,4
	Vinhaça	16,0	46,8	47,8
	Pó de rocha	16,0	34,4	43,2
	Polissulfato	16,0	32,2	45,7
0,4-0,6 m	Testemunha	13,3	24,0	41,4
	KCl	13,3	29,2	29,8
	Vinhaça	13,3	35,1	26,9
	Pó de rocha	13,3	24,6	30,5
	Polissulfato	13,3	20,4	33,7
0,6-0,8 m	Testemunha	11,7	19,7	31,8
	KCl	11,7	24,2	20,5
	Vinhaça	11,7	15,9	16,8
	Pó de rocha	11,7	20,7	18,7
	Polissulfato	11,7	17,3	15,4

A mobilidade no perfil do solo pode ser explicada pelo fato de que o nutriente apresentar-se de forma catiônica (K^+), onde seus sais apresentam elevada solubilidade e aliado a baixa CTC do solo e elevadas precipitações pluviais ocorre perdas por lixiviação, porem isso não ocorreu no presente trabalho, visto que o acúmulo pluviométrico foi menor que o esperado, assim como houve barreiras físicas, como no solo 1 que a presença da plintita forma uma barreira que dificulta a infiltração da água e o desenvolvimento das raízes, faz com que que impediram este movimento, e além de tudo tivemos tratamentos que não obtiveram a solubilização por completa de seus nutrientes.

Já os teores de K no solo 2 (tabela 21), em todos os tratamento e profundidades diminuíram, comparados ao teor inicial, principalmente na camada superficial (0-0,2 m), com a exceção do polissulfato na camada de 0,2-0,4 m de profundidade que obteve um pequeno incremento no teor de K. Isso se justifica devido no início do ano (janeiro a abril)

ocorrerem chuvas concentradas que ultrapassam a capacidade de campo e provocam maior percolação do nutriente neste período (Ucker, 2016). A redução considerável do conteúdo de K^+ nas camadas do solo podem ser atribuídas ao consumo do nutriente pela cultura da cana-de-açúcar, visto que obteve ótimos resultados de TCH.

Tabela 21. Teores de potássio no solo variando conforme profundidade e tratamentos, durante o período de 30, 180 e 295 dias após a brotação em um LATOSSOLO VERMELHO.

Profundidade	Tratamento	Janeiro	Maio	Setembro
			mg/dm³	
0,0-0,2 m	Testemunha	58,7	31,4	39,7
	KCl	58,7	43,3	58,3
	Vinhaça	58,7	35,1	46,5
	Pó de rocha	58,7	28,2	42,1
	Polissulfato	58,7	36,5	45,5
0,2-0,4 m	Testemunha	30,5	31,8	29,8
	KCl	30,5	36,3	29,0
	Vinhaça	30,5	46,8	25,9
	Pó de rocha	30,5	34,4	26,4
	Polissulfato	30,5	32,2	35,0
0,4-0,6 m	Testemunha	20,3	19,7	17,5
	KCl	20,3	20,6	19,0
	Vinhaça	20,3	16,3	15,8
	Pó de rocha	20,3	17,2	16,9
	Polissulfato	20,3	17,7	16,7
0,6-0,8 m	Testemunha	12,5	12,6	11,8
	KCl	12,5	13,2	12,0
	Vinhaça	12,5	11,2	11,0
	Pó de rocha	12,5	10,6	12,4
	Polissulfato	12,5	11,0	11,8

Independentemente do acréscimo ou dos decréscimos no solo 2, vale lembrar que como já foi falado neste trabalho, que os valores continuaram muito baixo, quando analisado o efeito residual para futuras cultura, visto que inicialmente estavam classificados como adequados ficaram, de forma residual, classificados como médios (Sousa e Lobato, 2004), necessitando assim maior quantidade de fertilização para as culturas subsequentes.

Além de que as avaliações devem ser globais de forma que todos os fatores devem ser observados, para que haja o entendimento correto das verdadeiras diferenças encontradas.

Segundo Andrade (2018), 49% da palhada depositada no solo após a colheita da cana é decomposta com a média de 300 dias, sendo necessário aproximadamente 70 dias para que metade do potássio presente inicialmente na palhada da cana-de-açúcar seja liberado para o sistema solo-planta, correspondendo a uma liberação gradual de 0,01 g dia^{-1}. Essa grande liberação do K, responde a razão da área sem adição de potássio no presente trabalho, obter bons resultados quanto ao incremento do nutriente no solo, podendo a ser comparados ou até apresentando melhores resultados que alguns tratamentos que tiveram a adição de potássio.

4.8 ANÁLISE ECONÔMICA

Em virtude de tantos fatores estudados no presente trabalho, e o entendimento de como se comporta cada fonte de fornecimento de potássio para dois solos distintos, em um canavial de primeira soca, é muito importante entender se tais adubações possuem representatividade econômica, para que na prática o produtor possa escolher o melhor fertilizante, para seus interesses, e tornar ainda assim seu negócio rentável. Assim é possível observar na tabela 22, que o custo de cada produto possui uma forma de ser comercializado e consequentemente preços e metodologias de aplicação distintas, por isso é preciso analisar o valor do insumo por hectare, considerando um balizamento do ponto de potássio, porém é de suma importância inserir o valor a aplicação mecanizada deste insumo, para que assim possa se tornar viável para produtores comerciais. Como forma de garantir a variação dos preços dos produtos e serviço, os dados foram indexados ao valor comercial do euro, que é uma moeda forte no mercado mundial, na data da colheita dos experimentos (R$ 6,54).

Tabela 22. Gerenciamento do custo dos insumos e do serviço de aplicação de cada tipo de insumo, todos indexados à moeda do Euro comercializada no dia da colheita.

Insumos	Custo do insumo			Aplicação	Apl. + Insumo
	€ /KG	kg/hectare	€ / ha	€ / ha	€ / ha
KCl	€ 0,24	200	€ 47,71	€ 14,53	€ 142,71
Vinhaça	€ 0,14	83	€ 11,42	€ 61,16	€ 106,42
Pó de Rocha	€ 0,04	1200	€ 42,20	€ 9,94	€ 137,20
Polissulfato	€ 0,19	857	€ 164,59	€ 14,53	€ 259,59

Insumos	Custo do insumo			Aplicação	Apl. + Insumo
	€ /KG	kg/hectare	R$ / ha	R$ / ha	R$ / ha
KCl	€ 0,24	200	€ 47,71	R$ 95,00	R$ 142,71
Vinhaça	0,14	83	€ 11,42	R$ 400,00	R$ 411,42
Pó de Rocha	0,04	1200	€ 42,20	R$ 65,00	R$ 107,20
Polissulfato	0,19	857	€ 164,59	R$ 95,00	R$ 259,59

Analisando os custos dos insumos utilizados na presente pesquisa e pesquisando no mercado agronômico, o custo da aplicação correta para cada tipo de insumo temos que os preços do KCl, da vinhaça e do pó de rocha, estão muito próximos é tornam viáveis as práticas de todos eles. O polissulfato, ainda é um produto de difícil extração e um tanto quanto exclusivo de algumas empresas, com isso o custo do insumo fica elevado, quando comparado com os demais, mesmo tendo forma de aplicação igual ao do KCl.

O presente objetivo é a análise somente do fornecimento de potássio, porém é preciso levar em consideração que para esta aplicação é preciso inserir os cálculos da operação mecanizada para a adubação potássica, e no caso no pó de rocha, apesar do custo do insumo ser o mais barato, os equipamentos que o aplicam não conseguem ser otimizados para aplicação dos demais nutrientes, diferente das demais fontes que há a possibilidade de realizar toda a nutrição de forma conjunta, visto que o produtor deve aplicar não somente o potássio e sim todos os nutrientes necessários, assim fazendo com que para o produtor esta operação seja menos vantajosa financeiramente.

A forma mais usual que o produtor faz ao imaginar seus custos de implantação da lavoura, é a transformação destes para sua produção, principalmente quando é possível

verificar o custo da elevação na produção, assim é possível verificar na tabela 23, desta forma temos que no PLINTOSSOLO HÁPLICO, a fonte de potássio de menor custo por tonelada acrescida foi o pó de rocha que custou R$ 44,95 por tonelada, comparado a testemunha, o polissulfato gerou a maior produtividade, porem teve o custo do acréscimo elevado, muito devido ao custo do produto, assim torna-se inviável visto que o preço comercial da cana no momento da colheita e menor que o custo da tonelada produzida, porem existe um nicho de mercado que é a produção de cana-de-açúcar orgânica, onde a mesma possui um valor agregado maior, o que possibilita a viabilidade até mesmo do produto mais caro, visto que neste caso não se tem a opção do KCl como fonte de potássio e assim o polissulfato torna-se uma fonte solúvel em condições ao uso.

Tabela 23. Representação do custo da tonelada acrescida.

Solo	Tratamento	TCH	R$ / ha	R$ / t
PLINTOSSOLO HÁPLICO	Testemunha	87,66	R$ -	R$ 0,00
	KCl	90,05	R$ 312,00	R$ 130,22
	Vinhaça	77,54	R$ 74,70	-R$ 7,39
	Pó de Rocha	93,80	R$ 276,00	R$ 44,95
	Polissulfato	99,72	R$ 1.076,39	R$ 89,25
LATOSSOLO VERMELHO	Testemunha	130,25	R$ -	R$ 0,00
	KCl	144,76	R$ 312,00	R$ 21,49
	Vinhaça	116,17	R$ 74,70	-R$ 5,31
	Pó de Rocha	107,04	R$ 276,00	-R$ 11,89
	Polissulfato	135,79	R$ 1.076,39	R$ 194,15

Observando o LATOSSOLO VERMELHO é possível observar que considerando o ganho de produtividade dos tratamentos com a adição de potássio em relação ao tratamento sem adição de potássio, temos que somente o KCl foi economicamente viável, quando é considerando o valor da tonelada de cana, ainda mais que a testemunha obteve uma ótima produção, o que inativa a viabilidade dos produtos que não alcançaram o seu valor.

Na tabela 24, é possível observar a variação do preço entre uma cana com manejo convencional e uma de certificações orgânicas, assim podendo perceber que com esta variação de preço pode causar viabilidade econômica em alguns produtos. Assim temos a forma mais comum de cálculo entre os produtores, onde o custo é transformado em unidade produzida, no caso deste experimento em toneladas de cana.

Tabela 24. Representação de custo de adubação potássica por tonelada de cana produzida (Orgânica e convencional).

Insumos	Apl. + Insumo		Cana - t / ha	
	€ / ha		Convencional	Orgânica
KCl	€	62,23	5,43	-
Vinhaça	€	72,58	6,33	3,96
Pó de Rocha	€	52,14	4,55	2,84
Polissulfato	€	179,11	15,62	9,76
Convencional	€	11,47	Orgânica	€ 18,35

5 CONCLUSÃO

O estudo do efeito das adubações potássicas alternativas em soqueiras de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes solos foi de grande importância pela sua contribuição científica. Pouco se conhece a respeito das diferentes fontes de potássio, e seus resultados de modo que, toda informação gerada é válida por favorecer a obtenção de maiores rendimentos com menores custos. Ambos os experimentos mostraram que é o cloreto de potássio, que é o fertilizante mais utilizado na agricultura, juntamente com o polissulfato, proporcionaram maiores produtividades de colmos e de matéria seca. O KCl foi a fonte que mais elevou os teores de potássio nas camadas superficiais dos solos trabalhados aos 180 dias após a brotação do canavial. Assim como a vinhaça, que tem seu uso crescente nas usinas, como fertilizante potássico, e é uma realidade para produções orgânicas, apresentou melhor resultado na elevação do índice nas camadas medias de ambos os solos. Aos 295 dias após a brotação do canavial o KCl ainda se manteve como a fonte que melhor elevou as camadas superficiais de ambos os solos, porém neste período o polissulfato apresentou semelhança, sendo assim as duas fontes que deixaram melhor efeito residual de potássio nos solos.

De forma geral o PLINTOSSOLO HÁPLICO, elevou os índices de potássio no solo, também foi o que mais acumulou o nutriente no colmo e consequentemente o que mais exportou em todas as fontes de fornecimento de potássio, porem foi o que produziu obteve baixas produções, inversamente proporcional ao LATOSSOLO VERMELHO, que de forma geral teve uma diminuição do teor de potássio no solo, menor acumulo de potássio no colmo, assim como menor exportação por tonelada de cana, porém alcançou maior produção, isso muito por ser um solo mais balanceado em seus nutrientes, assim como Mitscherlich diz: “O excesso de um nutriente no solo reduz a eficácia de outros e, por conseguinte, pode diminuir o rendimento das colheitas".

Na busca por fontes alternativas e sustentáveis para o fornecimento de potássio às plantas, o pó de rocha apresentou mais eficiência na qualidade tecnológica, para o

experimento no LATOSSOLO VERMELHO, onde proporcionou ganhos reais nos indicadores de açúcares redutores, sacarose, pureza e açúcares totais retidos (ATR).

De forma geral é possível verificar que o cloreto de potássio é eficiente quando aplicado em doses correta, porem há produtos que proporcionam a lavoura a mesma eficiência ou em algumas vezes até melhores resultados, porem o ideal para o agricultor seria uma mescla de fontes de fornecimento, até para possuírem um fornecimento gradativo durante o ciclo da cultura, para assim terem insumos com preços atrativos e performance que agrade quem produz. Esta pesquisa ajuda no entendimento de metodologias de fornecimentos para diferentes realidades de solo e ainda para produtores orgânicos.

Sendo a cana-de-açúcar uma cultura semi perene, com produção plena durante cinco a seis anos, é importante continuar a pesquisa ao longo do ciclo da cultura, compreendendo o comportamento das fontes de potássio e seus efeitos residuais. Para estudos posteriores teria importância estudar a interação das fontes, para melhor aproveitamento pela planta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, H. J.; **Nutrição potássica em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima.** Jaboticabal, 2013.

ALMEIDA, H. J.; CRUZ, F. J. R.; PANCELLI, M. A.; FLORES, R. A.; VASCONCELOS, R. L.; PRADO, R. M. Decreased potassium fertilization in sugarcane ratoons grown under straw in different soils. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 7, p. 596-604, 2015.

ALVAREZ, R.; FREIRE, E.S. **Adubação da cana-de-açúcar**. VI Fracionamento da dose de potássio. Bragantia, Campinas, 21:31-43, 1962.

ANDRADE, L. R. M.; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. **Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas**. Planaltina: EMBRAPA, 2002. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).

ANDRADE, A. F.; **Dinâmica de potássio no sistema solo-planta em cana-soca sob condições edafoclimáticas de cerrado.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Goiânia, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2008 (MARTINS et al., 2019).

BAMBERG, A.L.; SILVEIRA, C.A.P.; MARTINS, E.S.; BERGMANN, M.; MARTINAZZO, R.; THEODORO, S.H. **Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem**, Embrapa Cerrados, 2016.

BARROS, R. P. DE; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L. DA; SOUZA, R. M. DE; BARBOSA. L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. DE V.; MELO, A. S. de.; **Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v.40, p.341-346, 2010.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BERNARDI, A. C. C.; SOUZA, G. B.; VALLE, F.; MAGEN, H. **Comparing polyhalite and KCl in alfalfa fertilization**. XVIII International Plant Nutrition Colloquium (IPNC), Copenhagen, Denmark, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2009. **Anuário Estatístico da Agroenergia**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br> . Acesso em 23 out. 2018.

BRITO, A.S. **Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CAMPBELL, N. S. **The use of rockdust and composted materials as soil fertility amendments**. 402 p. Thesis (Ph.D. in Philosophy) - University of Glasgow, Glasgow, 2009.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; DIEKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & VENDRUSCULO, E.R.O. **Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats**. Sci. Agric., 59:549-554, 2002.

CONSECANA-SP, **Manual de Instruções**, 2015, 5ª ed., 111 pp.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. **Mineralogia e Formas de Potássio em Solos Brasileiros**. IN: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (ED.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 91-122.

DE SOUZA, J. A. A. **Nutrição do cafeeiro sob fertirrigação com água residuária de origem urbana com água residuária de origem urbana**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (Suplemento), p.150-154, 2005.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R.; SANTOS, L.A. **Nutrição mineral de plantas**. 2ª edição, Sociedade brasileira de ciências do solo, Viçosa – MG, 2018.

FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. CAIONE, G. Manejo do potássio na região de Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.(Eds.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. v. 1, cap. 10, p.359-409.

FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R, L.; MORAES, M. F. **Nutrição e adubação: de grandes culturas na região do cerrado**. Goiânia: Gráfica UFG, 2019.

FRANCO, H.C.J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; SARTORI, R.H. & TRIVELIN, M.O. **Acúmulo de nutrientes pela canaplanta**. STAB Açúcar, Álcool Subpr., 26:47-51, 2008.

FURLANI, A.M.C.; CATANI, R.A.; DE MORAES, F.R.P.; FRANCO, C.M.; **Efeitos da aplicação de cloreto e de sulfato de potássio na nutrição do cafeeiro**, Revista Cientifica do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, volume 35, 1976.

FYFE,W.S., LEONARDOS, O.H., THEODORO, S.H**., "Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution"**, Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 78, n. 4, pp. 715-720, 2006.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. **Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar** - revisão de literatura. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v.3, 1-15, 2009.

International Fertilizer Association – IFA. IFADATA. Paris: IFA; 2017 [acesso em 1 junho 2017]. Disponivel em: https://www.fertilizer.org/en/statistics/statistics_databases/en/statistics/statistics.aspx?hkey=c1225c13-d355-48c7-a646-31acd4c22480.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. **The dilution effect in plant nutrition studies.** Advances in Agronomy, California, v. 34, p. 197-224, 1981.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. **Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo**. Pesq. Agropec. Gaúcha, 2:79-86, 1996.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes**. 1928.

LANA, R.M.Q.; ZANÃO JUNIOR.L.A.; LUZ, J.M.Q.; SILVA, J.C. **Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fosforo em solo de cerrado**. Horticultura Brasileira, Brasília,v.22, n.3, p. 525-528. 2004.

LANE, J. H. & L. EYNON, **Determinations of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator**. J. Soc. Chem. Ind. 42: 32T, 463T. 1923.

LEANDRO, W.M. ; OLIVEIRA, J.R. ; ROLIM, M.V. ; VALE, F. **Eficiência agronômica de um polifosfato sulforado no algodoeiro em solo de Goiânia-GO**. In: IV Congresso Brasileiro de Algodão, Goiânia/GO. 2003.

MALAVOLTA, E. **Potássio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba, Potafos, 1982. (Boletim Técnico, 4)

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. p. 193-222.

MARIN. F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009.

MARSCHNER, H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients**. In: MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. p.231-255.

MEERT, K. L.; BRILLER S.H.; SCHIM S.M.; THURSTON C.; KABEL A.; **Examining the needs of bereaved parents in the pediatric intensive care unit: a qualitative study**. Death Stud. 2009 Sep;33(8):712-40

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. **Reserva mineral do solo**. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v. 1, p. 251-332

NASCIMENTO, M. & LOUREIRO, F.E.L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 66 p. (Série Estudos e Documentos, 61). 2004.

NOVAIS, R.F.; et al.; **Fertilidade do solo**, Sociedade brasileira de ciência do solo, 1ª edição, 2007.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR., E.; RODELLA, A.A. **Calibração de potássio no solo e recomendação de adubação para a cana-de-açúcar**. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v.97, n.1, p. 18-24, 1981.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1137-1145, 2010.

PADUA, E.J.; **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Lavras, 2012.

PANCELLI, M. A.; **Nutrição potássica e produção da soqueira de cana-de-açúcar no sistema de cana crua**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2011

PENATTI, C. P.; **Adubação da cana-de-açúcar:30 anos de experiência.** Editora Ottoni, Itu, SP, 2013.

PENTEADO, S. R.; **Manual prético de agricultura orgânica.** Fundamentos e técnicas, 3ª edição. Campinas, SP. 2018.

PRIMAVESI, A.; PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas**, Coleção agroecologia, 1ª edição Expressão popular, São Paulo, 2018.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. **Calibração do potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar**. Ciência e Cultura, São Paulo, 26(6):575-579, 1974.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In. 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, 1997. p. 231-243. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V. et al. **Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais**. Espaço & Geografia, Brasília, v. 9, n. 2, p. 135-161, 2006.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RODELLA, A.A.; ZAMBELLO Jr., E. & ORLANDO FILHO, E. **Effects of vinasse added to soil on pH and exchangeable aluminum content**. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17., Havana, 1983. Proceedings. Havana, José Marti, 1983. p.237-245

RODRIGUES, J.D.; JADOSKI, C.J.;FAGAN, E.B.; ONO, E.O.;SOARES, L.H.; DOURADO NETO, D.; **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar**, 2018. P. 64-66.

ROSOLEM, C.A. & NAKAGAWA, J. **Residual and annual potassic fertilization for soybeans. Nutr. Cycling Agroecosy**. 59:143-149, 2001.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S. & CALONEGO, J.C. **Potássio no solo em conseqüência da adubação sobre a palha de milheto e chuva simulada**. Pesq. Agropec. Bras., 41:1033-1040, 2006.

SANTINATO, F.; SANTINATO, R.; MATIELLO, J. B. **Ekosil, nova fonte de potássio em lavoura de café**. In: 43º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Anais 434. Poços de Caldas-MG, 2017.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; **Cana-de-açúcar, do plantio à colheita, viçosa**, MG; UFV, 2016.

SANTOS, H. G. dos; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA, 2018.

SILVA, T. M. R. **Nutrição potássica na primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema de colheita sem despalha a fogo.** 2010. 58 f. Dissertação (Trabalho de graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

SIRIMARCO, H.; **Brasil está mais dependente da importação de fertilizantes**. Sociedade nacional de agricultura. 2015. Arquivo/SNA. Rio de Janeiro, 2015, Disponível em: < https://www.sna.agr.br>. Acesso em 08 nov. 2018.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; et al. **CERRADO correção do solo e adubação**. 2ª Edição, Embrapa informações tecnológicas, Brasília-DF, 2004.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A. **Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais**: experiências no Cerrado. Piracicaba: IPNI, 2009. 7p. (Informações Agronômicas, 126).

SPARKS, D.L. & HUANG, P.M. **The physical chemistry of soil potassium**. In: MUNSON, R.E., ed. Potassium in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1985. p.201-276.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.M.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Outras culturas

industriais. In: 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, 1997. p.237-239. (Boletim técnico, 100)

STRAATEN, P. V. **Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 731-747, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª edição, Porto Alegre – RS, Artmed, 2004.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; DE ALMEIDA, E. **Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos**. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, I, Anais, Planaltina, EMBRAPA. 2010.

UCKER, F. E.; DE-CAMPOS, A.B; HERNANI, L. C.; MACÊDO, J. R.; MELO, A.S; **Vertical movement of the potassium ion in Quartzipsamment Entisols under sugarcane crop**. Pesq. agropec. bras. vol.51 no.9 Brasília. 2016.

VALE, F.; SILVA, R.A. **Substituição do cloreto de potássio por sulfato duplo de potássio e magnésio e seus efeitos na produtividade e qualidade da batata.** In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza/CE. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009.

VALE, F. **Movimentação de cálcio e magnésio no perfil do solo com uso de polihalita na adubação potássica da soja**. International potash institute, FERTBIO, Goiânia-GO, 2016.

VALE, F. **Avaliação da polihalita como fertilizante influenciando a produtividade e sanidade no cultivo de repolho**. International potash institute, XXXVI Congresso brasileiro de ciências do solo, Belém-PA, 2017.