



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DOUGLAS DA SILVA SANTOS

**ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA PARA FORNECIMENTO DE
POTÁSSIO PARA AS CULTURAS**

2013

DOUGLAS DA SILVA SANTOS

**ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA PARA FORNECIMENTO DE
POTÁSSIO PARA AS CULTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

DOUGLAS DA SILVA SANTOS

ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA PARA FORNECIMENTO DE POTÁSSIO
PARA AS CULTURAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Solos, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 11 de Março de 2013.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UFU

Dr. Eduardo Scarpari Spolidorio

ESALQ

Dra. Lilian Aparecida de Oliveira

UFU/CNPq

Prof. Dr. Gaspar Henrique Körndorfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S237r Santos, Douglas da Silva, 1980-
2013 Rochagem como alternativa para fornecimento de potássio
para as culturas / Douglas da Silva Santos. -- 2013.
89 f.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Fertilizantes potássicos - Teses.
3. Potássio na agricultura - Teses. I. Korndörfer, Gaspar
Henrique, 1953- . II. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU:631

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Joaquim Ribeiro dos Santos e Maria de Lourdes da Silva Santos; aos meus irmãos,
Viviane, Tatiane, Josiane, Ronaldo e Jhennifer,

Dedico.

EPIGRAFE

“I pack my case, I check my face,
I look a little bit older
I look a little bit colder
With one deep breath, and one big step
I move a little bit closer, I move a little bit closer
For reasons unknown...”

For reasons unknown -The Killers

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jeová Deus por mais esta etapa concluída em minha vida, diante de tantos obstáculos vencidos até aqui; e a todos que tornaram este trabalho possível:

Meu orientador Gaspar Henrique Konrdörfer pela confiança e oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira, por todo aprendizado adquirido ao longo desses anos, e sua colaboração neste trabalho.

Aos membros da banca Dr. Eduardo Scarpari Spolidorio e Dra. Lilian Aparecida de Oliveira pela contribuição.

Aos Professores Dr. Lisias Coelho e Dra. Adriane de Andrade; os colegas Robson, Ivaniele, Gustavo, Welldy e Lucélia por toda ajuda e empenho para conclusão deste trabalho.

Aos funcionários do LAFER; Adriano e Giovana pela paciência e auxílio durante a realização das análises; a secretária Valeria Moreira que ao longo desses muitos anos de convivência sempre esteve disposta a ajudar, durante a execução deste e outros trabalhos.

Aos estagiários Mariana, ValdJames, Artur e Laerte pelo apoio durante a execução dos experimentos.

Aos técnicos do LABAS, Manuel, Gilda, Eduardo e Marinho pela paciência e aprendizado durante a execução das análises químicas.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais-FAPEMIG, pela concessão de bolsas.

Aos amigos Victor Prado e Wesley Oliveira pela amizade e apoio moral, que tornaram mais fáceis os períodos de dificuldade.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	01
2.1 Reservas e Produção de Potássio no Mundo e no Brasil.....	01
2.2 Potássio no solo.....	03
2.3 Extratores utilizados para determinar o potássio disponível para as plantas.....	04
2.4 Fontes de Potássio para Agricultura.....	05
2.5 Rochagem	06
2.5.1 Fontes minerais de potássio alternativas.....	06
2.5.2 Fonolito.....	07
2.5.3 Feldspato.....	07
2.5.4 Sienito.....	07
2.5.5 Verdete	08
2.6 Termofertilizantes (termopotássio)	08
2.6.1 Vantagens do termopotássio em relação ao KCl.....	09
2.7 Potássio na planta.....	10
REFERÊNCIAS.....	11

CAPÍTULO 1 Reatividade de fontes alternativas de potássio em dois solos

RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 MATERIAL E MÉTODOS	17

2.1 Solos utilizados nos experimentos.....	17
2.2 Caracterização química das fontes de potássio.....	18
2.3 Condução do experimento.....	19
2.4 Avaliações do experimento.....	20
2.5 Análise estatística.....	20
3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	20
3.1 Teor de potássio no solo.....	20
4 CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS.....	25

CAPÍTULO 2 Lixiviação de potássio de diferentes fontes de potássio em dois tipos de solo.

RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	27
1 INTRODUÇÃO.....	28
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Caracterização química das fontes de potássio.....	28
2.2 Condução do experimento.....	29
2.3 Avaliações do experimento.....	30
2.4 Análise estatística.....	31
3 RESULTADO E DISCUSSÃO	31
3.1 Teor de potássio na solução do solo.....	31
3.2 Teor de potássio no solo.....	32
4 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS.....	36

CAPÍTULO 3 Eficiência agronômica de diferentes fontes de potássio na cultura do milho

RESUMO.....	38
ABSTRACT.....	39
1 INTRODUÇÃO.....	40

2 MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1 Caracterização química das fontes de potássio.....	41
2.2 Condução do experimento.....	41
2.3 Cultivos.....	42
2.4 Análise da parte aérea do milho.....	43
2.5 Análise de solo.....	43
2.6 Cálculo do Índice de eficiência agronômica (IEA).....	44
2.7 Percentual de potássio recuperado.....	44
2.8 Análise estatística.....	44
3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	44
3.1 Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo).....	44
3.1.1 Produção de matéria seca da parte aérea do milho(P.A).....	44
3.1.2 Concentração de potássio na parte aérea do milho.....	47
3.1.3 Potássio acumulado na parte aérea do milho.....	48
3.1.4 Teor de potássio extraído no solo.....	51
3.1.5 Teor de silício extraído no solo.....	52
3.1.6 Concentração e quantidade de cálcio acumulado (P.A).....	53
3.1.7 Concentração e quantidade de magnésio acumulado (P.A).....	56
3.2 Latossolo Vermelho distrófico (LVd).....	58
3.2.1 Produção de matéria seca da parte aérea do milho.....	58
3.2.2 Concentração de potássio na parte aérea do milho.....	60
3.2.3 Potássio acumulado na parte aérea do milho.....	62
3.2.4 Teor de potássio extraído no solo.....	65
3.2.5 Teor de silício extraído no solo.....	66
3.2.6 Concentração e quantidade de cálcio acumulado (P.A).....	67
3.2.7 Concentração e quantidade de magnésio acumulado.(P.A).....	69
3.3 Percentual de potássio recuperado pelas fontes.....	72
3.4 Índice de eficiência agronômica (IEA).....	73
4 CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS.....	76

RESUMO

SANTOS, DOUGLAS DA SILVA. **Rochagem como alternativa para o fornecimento de potássio para as culturas**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Com o objetivo de avaliar o uso de rocha aplicada in natura, e tratada termicamente como fonte alternativa de potássio, foram montados três experimentos: Teste de incubação, de lixiviação e biológico. Todos os testes foram conduzidos em casa de vegetação, utilizando amostras de dois tipos de solos, Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e o Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo). No primeiro experimento, o objetivo foi avaliar a capacidade de liberação do potássio, das fontes aplicadas in natura e tratada termicamente (Termopotássio) e comparar ao KCl. Foram utilizadas seis fontes de potássio (fonolito, feldspato, sienito, verdete, termopotássio e KCl) e duas doses de potássio (200 e 400 kg de K₂O ha⁻¹). Após 60 dias, foi determinado o teor de potássio no solo. Os valores de potássio para as fontes KCl, termopotássio e fonolito variou com a dose aplicada e o tipo de solo. As fontes, verdete, feldspato e sienito não foram diferentes do tratamento testemunha. O segundo experimento teve como objetivo avaliar as perdas por lixiviação do potássio proveniente do cloreto de potássio granulado, das rochas moídas fonolito e feldspato, aplicados em amostras de LVd e RQo. Os tratamentos foram, distribuídos em colunas de lixiviação, com 20 cm de diâmetro e 80 cm de altura. Ao final do experimento foram determinados os teores de potássio presentes no lixiviado e em cada anel da coluna. O fonolito e o feldspato potássico são menos solúveis e, portanto menos sujeito a perdas por lixiviação se comparado com o cloreto de potássio. A perda de potássio por lixiviação foi maior no solo RQo se comparado com o LVd. No teste biológico, instalado em vasos, foram realizados dois cultivos consecutivos, e teve como objetivo avaliar aplicação de rochas moídas in natura, fonolito, feldspato, sienito, verdete, e rocha tratada termicamente, termopotássio granulado e em pó, nas doses de 100 e 200 Kg de K₂O ha⁻¹ para fornecimento de potássio a cultura do milho. As variáveis analisadas ao final do experimento foram: Potássio extraído do solo após cada cultivo, silício no solo, matéria seca da parte aérea do milho, concentração e acúmulo de cálcio, magnésio e potássio no tecido foliar. Concluiu-se com os dois cultivos consecutivos, que o índice de eficiência agronômica do termopotássio em pó foi superior ao KCl nas amostras de um LVd e nas amostras de um RQo. Em ambas as amostras de solo, os TK-GR, verdete, feldspato potássico, fonolito e sienito apresentaram índice de eficiência agronômica inferior ao KCl e ao TK-Pó. Com os três experimentos, pode se concluir que apenas aplicação das rochas moída, fonolito, feldspato, sienito e verdete não se mostraram eficiente para fornecimento de potássio como fertilizante.

Palavras-chaves: rocha, termopotássio, disponibilidade, nutrientes, lisímetros, *Pennisetum glaucum* L.

¹Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU (Orientador)

ABSTRACT

SANTOS, DOUGLAS DA SILVA. **Rock powder as an alternative to supply potassium for crops**. 2013. 77 f. Dissertation (MSc in Agronomy / Soils) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia¹.

In order to evaluate the use of rock powder and rock thermally treated applied as an alternative source of potassium for crops, three studies were conducted: Incubation study, biological study and leaching study. All studies were conducted in a greenhouse, using samples of two types of soils, an Oxisol Red (LVd) and a Ustoxic Quartzipsamment (RQo). The first study, evaluated the release potassium to the soil. Six sources of potassium (phonolite, feldspar, nepheline, verdete, thermopotash and KCl) and two levels of potassium (200 and 400 kg ha⁻¹). Potassium in the soil, was determined after incubation for 60 days. It was observed that phonolite was effective to release, together with the thermopotash while .The sources feldspar, verdete and nepheline are not . The second test evaluated leaching losses of potassium from granular potash, powder rocks phonolite and feldspar, in samples of LVd and RQo. Each sources of potassium was distributed into 20-cm diameter and 80-cm high leaching columns. At the end of the experiment potassium present in the leachate and in each ring of the column was determined. Phonolite and feldspar provided more potassium in the top soil layer (0-5cm). KCl provided more potassium in subsurface layers, showing greater mobility in the profile. The mobility of phonolite and feldspar were similar. For the biological study, done in pots, millet was grown two consecutive times to determine the absorption of potassium, and others nutrients, presents in rocks, phonolite, feldspar, nepheline, verdete, and thermally treated rock, thermopotash granulated (TK-GR) or powder (TK-Pó) at doses 100 and 200 kg of K₂O ha⁻¹ . At the end of the experiment dry matter, K⁺, Ca⁺ and Mg⁺ contents in ground millet matter, and accumulate in millet ground matter, K⁺ and Si soil were analyzed. For two consecutive crops, the agronomi efficiency of TK-Pó was greater than KCl in both soil samples, LVD and RQo. Millet absorbed potassium, calcium and magnesium, supplied by TK-Pó. The agronomy efficiency of TK-GR, verdete, feldspar, phonolite and nepheline were lower than KCl and TKPó both in LVd and RQo. In conclusion, only TK-Pó can be used as a potassium source in millet.

Keywords: Rock, Thermopotash, Availability, Nutrients, Lysimeters, Pennisetum glaucum L.

¹Supervisor: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU

1 INTRODUÇÃO

Para obtenção de altas produtividades se faz necessário o uso de fertilizantes e corretivos. A crescente demanda por fertilizantes e a dependência externa do País, demonstram uma fragilidade do sistema de produção agrícola nacional, inclusive para o potássio, nutriente essencial as plantas (HURTADO et al., 2012).

O Cloreto de potássio é principalmente usado como fertilizante, sendo o setor agrícola o responsável pela maior demanda desse produto. Em termos mundiais, a produção de fertilizantes potássico esta concentrada em poucos países, onde o Canadá detem 52% e a Rússia com 21% são os dois principais países em reservas, bem como os maiores produtores mundiais, com cerca de 40% do total produzido. O Brasil é o maior consumidor desse fertilizante. A produção brasileira, embora tenha crescido nos últimos anos, está ainda muito abaixo da demanda interna, produzindo apenas 9% e importando cerca de 91% (IBRAM, 2011). Desta forma a busca por alternativas viáveis, com a possibilidade de diminuir a importação de fertilizantes potássicos se faz necessária.

Recentemente, a utilização de pó de rocha vem sendo pesquisada quanto ao seu potencial agrônômico, sobretudo no suprimento de potássio, em várias regiões do Brasil (MELAMED, GASPAR & MIEKELEY, 2007).

A rochagem parte do princípio de diversificação de fontes de nutrientes, criando novas opções de suprimento, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, podendo ser considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para melhorar as características químicas de solos pobres ou lixiviados, fundamentando-se, basicamente, na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade sustentável (COLA & SIMAO, 2012).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso rocha aplicada in natura e tratada termicamente como fonte de potássio as plantas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Reservas e Produção de Potássio no Mundo e no Brasil

Embora os silicatos ricos em potássio, como o feldspato potássico, a muscovita e a leucita, apresentam entre 10 e 20% de K_2O equivalente e sejam abundantes na crosta,

não constituem importantes fontes de potássio, pois não são solúveis em água e suas estruturas não são rompidas com facilidade por meios artificiais (OLIVEIRA, 2010).

Os depósitos evaporativos, rochas sedimentares, constituem as mais importantes fontes de sais de potássio, pois os sais derivados desses depósitos são muito solúveis em água e podem ser explorados e processados mais facilmente. Os principais compostos evaporíticos de potássio são: silvita (KCl), carnalita ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), cainita, ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), langbeinita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$), polialita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), schoenita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); singernita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (OLIVEIRA, 2010).

O mineral mais importante da lista acima é a silvita. Nos depósitos evaporíticos ocorre, freqüentemente, a mistura silvita e halita, denominada de silvinita ($\text{KCl} + \text{NaCl}$), constituindo-se no principal minério de potássio (OLIVEIRA, 2010).

A distribuição das reservas mundiais de potássio esta concentrada em doze países (IBRAM, 2011); sendo que 47,5 % das reservas mundiais ocorrem no Canadá; O Brasil ocupa a 11ª posição em reserva (OLIVERIA, 2012).

A demanda mundial por potássio é suprida principalmente pelo Canadá, juntamente com a Rússia, a Bielorrússia e a Alemanha, juntos estes países detêm 74 % da produção mundial de potássio (KULAIF, 2009).

No Brasil, as reservas existentes são de carnalita e silvinita. Os principais depósitos explorados encontram-se nas subbacias evaporíticas de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, no estado de Sergipe e totalizam cerca de 490 milhões de toneladas de silvinita e 12,9 bilhões de toneladas de carnalita, com teores médios de 9,7 e 8,3 % de K_2O , respectivamente (OLIVEIRA, 2010).

A exploração das reservas de Sergipe teve início em 1979 devido à implantação da mina de Taquari-Vassouras pela Petrobras Mineração S/A – PETROMISA e em 1985 iniciou-se a produção brasileira de potássio. A partir de 1993, a produção cresceu e em 2008 essa mina chegou a produzir 607 mil toneladas de cloreto de potássio (KCl) (KULAIF, 2009). Em 1955 foram descobertos os depósitos de potássio (silvinita) da Amazônia, na região de Nova Olinda do Norte a 135 km de Manaus e depois em Itacoatiara, a 176 km de Manaus (NASCIMENTO et al., 2008).

A produção de potássio no Brasil, iniciada em 1985, é pequena e se concentra em uma só mina que é o Complexo Mina/Usina Taquari/Vassouras, no Estado de Sergipe, operado agora pela Companhia Vale do Rio Doce/VALE. As demais jazidas, no Estado de Sergipe e no Estado do Amazonas, ainda não entraram em produção.

Assim, o Brasil produz apenas 9 % do fertilizante potássico consumido no país (IBRAM, 2011).

2.2 Potássio no solo

A capacidade dos solos em suprir potássio para as plantas variam em função das formas em que este nutriente se encontra, da quantidade e do grau de disponibilidade de cada forma (MIELNICZUK, 1982). A maioria dos solos contém concentrações significativas de potássio, mas somente uma pequena quantidade (2%) está na forma de potássio trocável (NASCIMENTO et al., 2008).

O Potássio trocável refere-se ao elemento prontamente disponível para as plantas, pois está fracamente ligado às cargas negativas nas superfícies orgânicas e inorgânicas do solo (YAMADA; ROBERTS, 2005).

A outra forma como o potássio pode ser encontrado no solo é como potássio não trocável que é aquele retido na estrutura de minerais primários e/ou secundários denominado potássio estrutural, tais como os feldspatos potássicos e as micas, bem como o potássio fixado que é aquele que se encontra neutralizando as cargas negativas no interior das entre-camadas dos argilo-minerais expansivos como a vermiculita e a esmectita (minerais do tipo 2:1). O Potássio também pode estar na solução do solo, ou seja, dissolvido na água do solo e disponível para as plantas. A somatória dessas formas é representada pelo potássio total do solo (NOVAIS et al., 2007).

Estas formas estão em equilíbrio entre si, através da solução do solo, afetando, assim, a disponibilidade de potássio para as plantas. Quando este nutriente é retirado da solução do solo, conseqüentemente, uma fração dele, que estava ligada à fase sólida do solo, é liberada para manter o equilíbrio. Todas as formas de potássio podem ser liberadas para a solução do solo, porém a liberação do potássio trocável é rápida, enquanto que a do potássio não trocável é lenta (YAMADA; ROBERTS, 2005).

O potássio, quando presente na solução do solo, movimenta-se verticalmente, principalmente por fluxo de massa (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985). Porém, quando o potássio percola para abaixo da camada do solo ocupada pelas raízes, ocorre perdas desse nutriente por lixiviação. A quantidade dessa perda depende da fonte de potássio utilizada, do volume de água percolada e da concentração do potássio na solução do solo (NOVAIS et al., 2007).

A aplicação de sais de potássio de alta solubilidade, como o cloreto de potássio, facilita a lixiviação desse nutriente, especialmente, em solos arenosos e de baixa CTC (capacidade de troca de cátions) (KINPARA, 2003).

2.3 Extratores utilizados para determinar o potássio extraído do solo

A análise de solo é praticada em quase todas as regiões do mundo com graus de sucesso que dependem da quantidade e qualidade de pesquisa. Na década 60 a maioria dos laboratórios adotava praticamente mesmo método de análise; determinação de fósforo e potássio eram extraídos com a solução conhecida por Mehlich1, que contém $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ de HCl e $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$, H_2SO_4 sendo determinados respectivamente por colorimetria e fotometria de chama. A extração de fósforo, potássio, cálcio e magnésio do solo com a resina de troca iônica foi introduzida no ano 1983, (RAIJ et al., 2001).

O potássio trocável comumente tem sido extraído com Mehlich1 ou resina. O Mehlich1 é uma solução de ácidos que tem a capacidade de extrair o potássio não trocável, superestimando a disponibilidade do nutriente no solo. Esse efeito é reduzido com o método da resina, pois, o bicarbonato adsorvido na resina, por gradiente de concentração, vai para a solução do solo, e o nutriente ocupa o sítio de adsorção na resina para manter o equilíbrio químico. Portanto, a resina trocadora de íons permite obter um diagnóstico melhor da disponibilidade instantânea do potássio no solo se comparado com o extrator Mehlich1 (YAMADA; ROBERTS, 2005).

Segundo Raij et al. (2001) em solos tratados com fosfatos naturais o extrator Mehlich1 indica teores de fósforo mais alto do que a realidade, assim, a recomendação desse nutriente mediante os resultados utilizando esse extrator, ocasionará aplicações insuficientes de fósforo e conseqüentemente trará prejuízos para os agricultores.

Na maioria dos países, o potássio trocável é o índice mais usado para avaliar a disponibilidade do nutriente para as plantas, já que as plantas absorvem o K^+ da solução do solo, em equilíbrio com o potássio trocável. Porém, em certas situações, há interesse de determinar as formas não trocáveis de potássio que, eventualmente, poderiam tornar-se disponíveis para o solo, como é o caso do potássio presente em alguns minerais potássicos (RAIJ, 2011).

2.4 Fontes de potássio para Agricultura

A complementação do potássio em solos deficientes produz uma melhora no rendimento das colheitas e torna o vegetal mais resistente a pragas e doenças. O potássio é usado como fertilizante há muitos anos, na forma de cinzas ou na aplicação de resíduos vegetais (NASCIMENTO; LAPIDO&LOUREIRO, 2004).

Atualmente, as principais fontes potássicas minerais utilizadas na agricultura são o cloreto de potássio (KCl), o sulfato de potássio (K_2SO_4), o sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2SO_4.MgSO_4$) e o nitrato de potássio. Dos fertilizantes potássicos produzidos no mundo, 90% são na forma de cloreto de potássio (KCl) que é o fertilizante mais utilizado na agricultura (IBRAM, 2011), devido a alta concentração de K_2O , 58 a 62 % de K_2O , e ao menor custo por unidade de potássio (YAMADA; ROBERTS, 2005), no entanto, 91 % desse fertilizante, é importado (IBRAM, 2010). Uma desvantagem do KCl é que ele apresenta alto índice salino, podendo causar dano às plantas ou à semente, isto pode ser agravado em períodos de seca ou com aplicação localizada. O índice salino é uma medida da tendência do adubo em aumentar a pressão osmótica da solução do solo comparada à de igual peso de nitrato de sódio, cujo valor é igual a 100 e o do cloreto de potássio é de 116,3 (KORNDORFER, 2006).

Algumas culturas são sensíveis ao cloro presente no KCl; este, deve ser evitado no cultivo de algumas culturas, sensíveis ao excesso desse elemento, pois pode ocasionar clorose e necrose das folhas, além de queda na produção (SILVA et al., 2001). No abacaxi (*Ananas comosus*), 15 g K_2O planta⁻¹ provenientes do cloreto de potássio diminuiu o tamanho do fruto, o teor de açúcar e de amido e aumentou a acidez do fruto pelo fato do cloro impedir a absorção de potássio pela planta. Já o fumo (*Nicotiana tabacum*) pode perder suas propriedades de queima e incandescência assim, folhas com mais de 1 % de cloro são rejeitadas para fabricação de charutos. Nutrientes que levam cloreto em sua composição afetam a vida no solo, já que o mesmo é um poderoso bactericida, assim, a utilização do cloreto de potássio foi proibida na agricultura orgânica, pois o mesmo contém 45 % de cloro na sua composição (SANTOS et al., 2006).

Outros fertilizantes potássicos, utilizados na agricultura, são os sulfatos e os nitratos. O Sulfato de potássio é composto de 50 a 52 % de K_2O e cerca de 18 % de enxofre, os quais são solúveis em água. O sulfato duplo de potássio e magnésio é composto de 22 % de K_2O , 11 % de magnésio, cerca de 22 a 23 % enxofre, solúveis em

água. O nitrato de potássio apresenta 44 % de K_2O e 13 % de nitrogênio e é ideal para ser usado em sistemas de fertirrigação. As fontes de potássio, como o nitrato e o sulfato, além de potássio, contêm outros nutrientes como o enxofre, magnésio ou o nitrogênio e apresentam menores índices salinos, assim, o efeito deletério é menor nas culturas, porém, mesmo assim, são pouco usados por serem mais caros que o cloreto de potássio (YAMADA; ROBERTS, 2005).

2.5 Rochagem

Rochagem é uma prática muito utilizada, consistindo na aplicação de pó de rochas diretamente no solo, com o passar do tempo dá origem a nutrientes e novos minerais; estes podem melhorar as características físico-químicas do solo e diminuir os impactos ambientais e o alto custo gerado pelos fertilizantes sintéticos que podem tornar inviável a atividade agrícola em algumas regiões (Melamed et al., 2007).

O aproveitamento das rochas, como fontes restituidoras de nutrientes para as plantas, recuperadora e renovadora do solo, pode configurar uma tecnologia alternativa capaz de auxiliar na redução do uso de produtos químicos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso dos adubos em formulações NPK (PINHEIRO; BARRETO, 1996; THEODORO, 2000).

O pó de rocha pode ser facilmente encontrado ou obtido em certas regiões do país. Existem inúmeras pedreiras que produzem brita e subprodutos, como o pó de brita, que constituem fonte com potencial a ser estudado (COMIN-CHIARAMONTI et al., 2002).

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de substituir totalmente ou parcialmente os fertilizantes potássicos, principalmente pelo alto custo desse insumo. Experimentos realizados no Sri Lanka com mica, flogopita e feldspato potássico, em culturas de chá e arroz, mostraram que a aplicação das rochas promoveu aumentos de cerca de 10% na produção em duas safras seguidas, quando comparada à fertilização convencional (WEERASURIYA; THILAKARATHNA; COORAY, 1996).

As rochas que possuem elevados teores de potássio podem ser utilizadas como fontes alternativas para a produção de termopotássio ou para aplicação direta no solo como fertilizantes de liberação lenta (ARAUJO, 2010).

2.5.1 Fontes minerais de potássio alternativas para agricultura

2.5.2 Fonolito

São numerosas as ocorrências de fonolitos no País, associadas a complexos alcalinos. Entre as mais conhecidas e melhor estudadas figura a de Poços de Caldas–MG.

No município de Poços de caldas-MG, a Mineração Curimbaba produz, a partir do fonolito, um pó-de-rocha com teor de 8,0 % de K_2O . Na Pedreira denominada Cabeça de Boi, na qual se produz brita para a construção civil, os finos gerados, abaixo de 4 mm, são processados num britador tipo Barmak, obtendo-se um produto comercializado para indústria cerâmica de revestimento. Os finos do peneiramento (80% < 400 malhas) a seco são coletados em filtros de manga e destinados a ensaios de eficiência agrônômica (UNESP de Botucatu) para o cultivo de café, milho e soja, com resultados promissores (CORTES, et al., 2009).

A composição mineralógica do fonolito é formada principalmente por microclina ($KAlSi_3O_8$), ortoclásia ($KAlSi_3O_8$), andesina $[(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8]$ e nefelina $[(Na,K)AlSiO_4]$ (TEIXEIRA, et al., 2012).

2.5.3 Feldspato potássico

Formam um importante grupo mineral, pois tem ampla distribuição e abundância. Eles resultam da substituição parcial do silício pelo alumínio, gerando três grupos principais: Os feldspatos potássicos (K-feldspatos), os feldspatos sódico-cálcicos, e feldspatos de bário, estes mais raros. O cátion dos feldspatos pode ser ocupado principalmente por: Potássio, sódio, cálcio, e raramente por ferro, chumbo, rubídio, e cério, podendo existir substituição iônica entre eles. Os mais comuns são soluções sólidas de K, Na e Ca, respectivamente: Ortoclásio ($KAlSi_3O_8$); Albita ($NaAlSi_3O_8$) e Anortita ($CaAl_2Si_2O_8$) (FREITAS & ARGENTIN, 2010.)

Um dos caminhos que poderia solucionar a carência de potássio fertilizante, no Brasil, seria produzi-lo à base de rochas ricas de feldspatos, o mineral mais abundante na natureza (o ortoclásio contém até 17% de K_2O), ou de feldspatóides (leucita: 22% de K_2O), por processos térmicos ou sob a forma de aplicação direta associada ou não à biolixiviação (LUZ et al., 2010)

2.5.4 Sienito

A nefelina (Na,K)(AlSiO₄) é um mineral aluminossilicato de sódio, do sistema hexagonal, pertencente ao grupo dos feldspatóides, que se forma nas rochas magmáticas subsaturadas em sílica. O magma, com sílica insuficiente para combinar com o sódio e formar feldspato favorece a formação da nefelina. Nefelina sienito é uma rocha ígnea rica em feldspatos sódicos, praticamente livre de quartzo, com a presença de minerais ferromagnesianos, tais como: piroxênio sódico, anfibólio alcalino e biotita. A rocha ocorre, em geral, na forma irregular em corpos intrusivos de tamanhos variados, sua textura é do tipo granítica ou gnáissica, cuja individualização dos grãos se obtém na granulometria que varia desde poucos milímetros até 100 mm (SAMPAIO, et al., 2008).

2.5.5 Verdete

O Verdete é encontrado predominantemente na região do Alto-Paranaíba (Estado de Minas Gerais), nas imediações dos municípios de Abaeté, Carmo do Paranaíba, Cedro do Abaeté, Dolores do Indaiá, Estrela do Indaiá, Matutina, Papagaios, Rio Paranaíba, São Gotardo, Serra da Saudade e Tiros. O Verdete é uma rocha de coloração verde cuja mineralogia é composta por 13 % quartzo, 29 % feldspato potássico, 57 % mica (representada por 9 % de muscovita e 49 % de biotita) e menos que 1 % de outros minerais (KAHN et al., 2011). A porcentagem de K₂O dessa rocha varia entre 7 e 14 % (PIZA et al., 2009).

2.6. Termofertilizantes (Termopotássio)

Termofertilizantes são produtos derivados de processos industriais de rochas que apresentam minerais de baixa solubilidade. Nas décadas de 80 e 90, foram feitos alguns estudos no Brasil sobre processos que poderiam ser usados para produzir esses fertilizantes. Os processos subdividem-se em térmicos, que se baseiam na fusão dos minerais, iniciados por Valarelli no fim da década de 70; químicos, nos quais o beneficiamento é feito a partir do ataque ácido (SANTOS, 1984); e os hidrotermais, com a simulação da alteração natural das rochas por fluidos salinos a altas temperaturas, promovendo enriquecimento de potássio (VILELA; SOUSA, 1986). Os

termofertilizantes, como termofosfato magnésiano fundido, são empregados com grande sucesso agrônomo no Brasil desde 1968 (FIGUEIRA, 1994).

O termopotássio é um material oriundo da calcinação do verdete, rocha in natura, tornando-se uma fonte mais solúvel que a sua matéria-prima. A calcinação é a adição de CaCO_3 ao silicato e posterior aquecimento feito para acarretar a desagregação dos minerais do silicato e liberação do potássio presente nele (FRAYHA, 1950; HOROWITZ et al., 1978).

2.6.1 Vantagens do termofertilizante em relação ao Cloreto de Potássio

A característica do termopotássio em liberar gradativamente o potássio para o solo gera maior efeito residual desse nutriente no solo. Dessa forma o potássio fica menos sujeito às perdas por lixiviação ou escoamento superficial, como é o caso das formas solúveis (cloreto de potássio). Segundo Sanzonowicz e Mielniczuk (1985), as perdas de potássio por lixiviação podem ser reduzidas com emprego de fontes menos solúveis ou portadoras de ânions pouco móveis no solo.

A adição de calcário durante o processo de produção do termopotássio faz com que essa fonte, ao ser aplicada no solo, seja capaz de neutralizar a acidez dos solos, em particular a mistura do verdete de Abaeté com o fosfato de Araxá em partes iguais com adição de 30 e 40 % de calcário magnésiano e submetida ao tratamento térmico de fusão, apresentou poder corretivo do solo (LEITE, 1985).

Além do potássio, outros nutrientes estão presentes no termopotássio, dentre eles cálcio, magnésio e silício. A presença de quantidades consideráveis de cálcio e de magnésio no termopotássio advém da combinação de verdete com calcário no processo de obtenção do mesmo. Devido ao fato do verdete ser uma rocha silicatada, ela contém na sua composição química o silício. Este nutriente proporciona melhoria no estado nutricional das plantas, sendo observada uma redução na toxidez de ferro, manganês, alumínio e sódio, e na redução na taxa de transpiração, além do controle de doenças na planta (LIMA FILHO et al., 1999). Em solos pobres nesses elementos, a utilização do termopotássio torna-se mais interessante do que o cloreto de potássio.

Ao contrário do cloreto de potássio, o termopotássio não apresenta o elemento cloro na sua composição química. O cloreto apresenta uma mobilidade no solo muito maior que o potássio (SANTOS et al., 2006). Lavouras adubadas com altas doses de potássio, na forma de KCl , levam a forte acúmulo de cloro nas folhas das plantas,

afetando processos fisiológicos importantes (ECHER et al., 2009). Bernstein e Francois (1975), cultivando pimentão em solução nutritiva por 12 semanas, submetido a altos níveis de sais com cloreto, observaram queima nas folhas devido aos altos níveis de sais cloreto em solução.

O uso de altas doses de potássio com fertilizante que apresenta alto índice salino como é o caso do KCl, ocasiona o aumento da salinidade no sulco de semeadura ou na região da rizosfera, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (ECHER et al., 2009). A utilização de fertilizantes oriundos do tratamento térmico de rochas potássicas, pode reduzir problemas devido ao efeito salino, que pode prejudicar a germinação e o bom desenvolvimento de algumas culturas (NEPTUNE et al., 1980).

2.7 Potássio na planta

O potássio é absorvido pelas plantas na solução do solo na forma iônica K^+ e no interior delas possui muitas funções, dentre elas é responsável pela ativação de cerca de 60 sistemas enzimáticos (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, proporciona a alongação celular, a resistência estomática e influencia na taxa fotossintética. Esse elemento também propicia síntese de carboidratos, proteínas, lipídios, maior resistência a pragas, doenças e ao acamamento e melhora a qualidade do produto colhido (CALMAK, 2005).

No tecido foliar, o potássio tem alta redistribuição, portanto, os sintomas de carência surgem nas folhas mais velhas (MALAVOLTA et al., 1997). No estágio inicial da deficiência, aparecem manchas cloróticas nos espaços entre as nervuras e espalhadas irregularmente por toda a superfície foliar. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (DELL et al., 1995; SILVEIRA et al., 1999).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M.S. **Estudo de rocha potássica como fonte alternativa de fertilizante de liberação lenta.** Disponível em:

< <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003560.pdf>.> Acesso: em 22. jan 2013.

BERNSTEIN, L.; FRANCOIS, E. Effects of frequency of sprinkling with saline waters compared with daily driirrigation. **Agron. J.**, Madison, v.67, p. 185-190, 1975.

CALMAK, I. Protection of plants from detrimental effects of environmental stress factors. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Anais ...** Piracicaba, Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 2005. cap. 10, p. 261-279.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde** ,Mossoró, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; et al. **Carbonatites from southeastern Brazil: Sr-Nd-Pb systematics.** Short Papers - IV South American Symposium on Isotope Geology, p. 520-523. 2002.

CORTES,G.P. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. **Anais ...** Brasília,2009. p. 75-83.

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts.** Camberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104p.

ECHER, F. R.; et al. Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro. I: atributos biométricos e componentes de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: **Anais...**Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1938-1943.

FREITAS, J.; ARGETIN, P.M. **Mineralogia.** Disponível em :

<<http://www.ige.unicamp.br/site/aulas/30/K%20feldspato.pdf>>. Acesso em : 23 de jan. 2013.

FIGUEIRA, J. L. G.. **Eficiência agronômica do termofosfato potássico fundido: estudo experimental em casa de vegetação, campo e colunas de lixiviação.** 1994. 80f. Dissertação (Mestrado em mineralogia e petrologia) – Universidade de São Paulo, Instituto de geociências, São Paulo, 1994.

FRAYHA,R. **Rochas potássica:** mineração e metalurgia, Rio de Janeiro, v.15, n.87, p.85-96, 1950.

HURTADO, S.C.M.; RESENDE, A.V.; MARTINS, S. E.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, G.C. **Avaliação de uma rocha silicática como fonte de potássio**. In :Fertibio 2012 : A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola. Maceio , Alagoas, centro de convenções,2012.

HOROWITZ, A.; PINTO, F.G.; DUARTE,P.J; CANNEIRO,M.OM. Produção de adubos de solubilidade controlada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2 n.2, p.144-157, 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**, 5. ed., 2010. Disponível: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001150.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**, 6. ed., 2011. Disponível: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001150.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2013

KAHN, H; TASSINARI, M.N; ANTONIASSI, J. L. **Estudo de caracterização mineralógica em amostra de verdete**, Escola Politénica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Caracterização Tecnológica.. 11 de maio de 2011 (Relatório interno –Verde Fertilizantes Ltda, maio de 2011).

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. 2003, 27 p. (Documentos 100).

KORNDÖRFER, G. H. **Apostila Potássio**, 2006. Disponível em : <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

KULAIIF, Y. Perfil do potássio. Produto 29 Agrominerais. **Ministério de Minas e Energia – MME**, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. Relatório Técnico 52,40p., 2009.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MONTE, M. B. de M.; NASCIMENTO, M. .Capítulo 7 – agrominerais. In: LUZ, Adão B. & LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

LEITE, P. da C. **Efeito de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnésiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. 1985. 160f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Pós-graduação em Agronomia, Escola superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G; TSAI, M. **Silício pode aumentar a resistência de plantas a doenças**. Boletim informativo do Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”, n. 87, p. 8-12, 1999. (Encarte técnico).

LUZ, A. B.; LAPIDO-LOUREIRO F. E.; SAMPAIO J. A.; CASTILHOS, Z. C. E.; BEZERRA, M. S. Capítulo 4 – Rochas , minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES,C.R.F; LUZ, A. B. CASTILHOS, Z.C.

(Eds.). **Agrominerais para o Brasil** 1. ed. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro, 2010.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizantes alternativos para sistemas de produção sustentável em solos tropicais**. Série de Estudos e Documentos Sed 72.CETEM/MCT, 2007.

MALAVOLTA, E. e VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997.319p.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração - experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; et al. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982.556p.

NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT. 2004.66p. (Série Estudos e Documentos,61).

NASCIMENTO, M; MONTE, M. B. de M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Capítulo 8 – Agrominerais - Potássio, In: LUZ, Adão B. ; LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

NEPTUNE, A.M.L.; et al. Disponibilidade do potássio a partir de vários materiais potássicos, utilizando o arroz como planta indicadora. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, **Anais ...**, Piracicaba, v.27, p.979-989, 1980.

NOVAIS, R.F; et al. **Fertilidade do solo**, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de ciência do solo,2007.101p.

OLIVEIRA, L.A.M. Potássio In: Sumário Mineral-2009. **Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**, Brasília, DF,v.29, 104 p.,2010.

OLIVEIRA, L.A.M. Potássio In: Sumário Mineral-2012. **Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**, Brasília, DF,v.32, 110 p.,2012.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. **MB-4 : Agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes**. 5. ed. corr. [s.l.]: Fundação Juquira Candiru, 1996. 273p.

PIZA, P. A. DE T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Termopotássio do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009.

RAIJ B .van. et al. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas-SP, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.285p.

RAIJ ,B .van. . **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicba-SP, International Plant Nutrition Institute, 2011,420p.

SANTOS, E. A. **Efeito da acidificação do verdete de Abaeté na disponibilidade do potássio para o milho (*Zea mays L.*) em casa-de-vegetação.** 1984. 126f. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas)- Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1984.

SANTOS, L. V.; et al. **Adsorção de Cloreto e Potássio em Solos Tropicais.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 29, n.2, p.101-121, 2006.

SANZONOWICKZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.9 p. 45-50, 1985.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; PAULO, F. A. B. Capítulo 30 – nefelina sienito. In: LUZ, Adão B. & LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

SILVEIRA, R.L.V.A.; et al. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações (compact disc). In: Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal: Piracicaba, 1999. **Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal 99**: trabalhos. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural.** Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado. 2000.

VILELA, L; SOUSA,D.M.G. de. Avaliação agronômica de fontes de potássio para solos do Cerrado In; GOEDERT, W.J;DIAS FILHO,F.A.(ed). **Relatório bienal** (1984/1985). Brasília: Embrapa: PETROFÉRTIL,1986p.131-134.

YAMADA, T.; ROBERTS,T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira.** Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, 2005.841p.

WEERASURIYA, T. J.; THILAKARATHNA P. K.; COORAY, P. I. **Evaluation of phlogopite mica and K-feldspar as slow-release multinutrient fertilizers.** In:___The dynamic geosphere, Ed. Gupta & Kerrich. p. 237. 1996.

CAPÍTULO 1

RESUMO

Reatividade de fontes alternativas de potássio em dois tipos de solos

A alta demanda por fertilizantes faz com que o Brasil busque alternativas para diminuir sua dependência externa dos mesmos. Assim, este trabalho, teve como objetivo analisar a capacidade de liberação do potássio para o solo proveniente de rochas moídas e rocha tratada termicamente, em relação ao KCl. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, no qual foram utilizados potes contendo 300 g de dois diferentes tipos de solo, um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e de um Neossolo Quartzarênio órtico típico (RQo). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições, em esquema fatorial $6 \times 2 + 1$, sendo 6 fontes de potássio (KCl, termopotássio, verdete, Fonolito, Feldspato e sienito), duas doses de potássio (200 e 400 kg de $K_2O \text{ ha}^{-1}$) e um tratamento testemunha que não recebeu adubação potássica. Após 60 dias de incubação foi determinado potássio disponível no solo utilizando dois extratores. Os tratamentos KCl e fonolito foram capazes de aumentar os teores trocáveis de K nas duas amostras de solo utilizando os dois extratores, Mehlich 1 e resina trocadora de anions. O termopotássio aumentou os teores trocáveis de K no solo RQo para ambos extratores; e na maior dose no solo LVd. O termopotássio foi capaz de aumentar os teores de potássio no solo similar ao KCl quando se utilizou o extrator Mehlich-1, e menos potássio quando o extrator utilizado foi a resina. O fonolito foi capaz de aumentar os teores de potássio no solo, porém, menos que KCl e termopotássio. As fontes verdete, feldspato e sienito não aumentaram os teores trocáveis de potássio no solo.

Palavras-chave: termopotássio, verdete, fonolito, feldspato, sienito

ABSTRACT

Reactivity of alternative sources of potassium in two soil types

The high demand for fertilizers causes the Brazil seek for alternatives to reduce its dependence on foreign sources. This study evaluated the release potassium in the soil from KCl, thermopotash, verdete, phonolite, feldspar and syenite. The experiment was conducted in a greenhouse, in pots containing 300-g of two different types of soils, an Oxisol Red (LVd) and a Ustoxic Quartzipsamment (RQo). The experimental design was a completely randomized design ,with four replications in a 6 x 2 +1factorial, 6 sources of potassium (KCl, thermopotash, verdete, phonolite, feldspar and nepheline), two doses of potassium (200 and 400 kg K₂O ha⁻¹) and an additional treatment (control) which received no potassium fertilization. After 60 days incubation, thermopotash was able to supply potassium to the soil similarly to KCl, when the extract Mehlich-1, and less than KCl when extracted with resin. Phonolite was able to supply potassium to the soil, but less than KCl and thermopotash. The sources verdete, feldspar and nepheline did not differ from the control.

Keywords: thermopotash, verdete, phonolite, potassic feldspar, syenite.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de rochas moídas ao solo pode ser uma alternativa para fornecer nutrientes as culturas, uma vez que existem diversos materiais de rocha ricos em elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Por possuírem pouca solubilidade, comparados aos fertilizantes industriais, estes materiais de rocha aplicados finamente moídos ao solo, pode apresentar efeito de liberação lenta, fornecendo o nutriente a planta por alguns ciclos da cultura.

O verdete, fonolito, feldspato potássico e sientto são rochas que apresentam uma porcentagem elevada de K_2O , variando entre 7 e 15%, podendo ser utilizadas como fonte alternativa de potássio, porém a liberação do K^+ presente nos materiais pode ser baixa uma vez que estes materiais são poucos solúveis em água.

Uma forma de acelerar essa liberação é por meio do tratamento térmico e químico, o que dá origem ao termofertilizante que é uma fonte de potássio resultante da mistura do verdete com $CaCO_3$ e/ou $CaSiO_3$.

Este trabalho teve como objetivo analisar a capacidade de rochas moídas e rocha tratada termicamente em disponibilizar potássio em dois diferentes tipos de amostras de solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Solos utilizados nos experimentos

Todos os tratamentos foram aplicados em amostras de dois diferentes tipos de solo, as quais foram extraídas dos primeiros 20 cm superficiais da camada de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) situado no município de Uberlândia-MG e de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), situado no município de Santa Vitória-MG. Estes solos foram caracterizados química e fisicamente segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA, 1999 (Tabelas 01 e 02).

TABELA 1 - Análise química dos solos utilizados no experimento de incubação.

Solos	pH H ₂ O	P	Si	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	V
		----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----			----- %	
LVd	5,0	1,7	6,0	0,04	0,4	0,2	3,3	5
RQo	4,4	5,2	3,1	0,04	0,5	0,1	2,7	5

P, K = (HCl0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Ca, Mg = (KCl 1 N); Si = (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹); V = Saturação por Bases; H+Al = Acidez potencia (Acetato de cálcio)

TABELA 2 - Análise física dos solos utilizados no experimento de incubação.

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico Típico	297	250	54	400
RQo – Neossolo Quartzarênico Órtico Típico	626	228	1	145

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1999).

2.2 Caracterização química das fontes de potássio

As amostras das fontes utilizadas no experimento foram caracterizadas quanto ao teor de K₂O (Tabela 03).

TABELA 3 - Caracterização química das fontes de potássio utilizadas no experimento.

FONTE	K ₂ O Total*	Si Total**	CaO Total***	MgO Total***
	----- g kg ⁻¹ -----			
KCl	600,0	---	---	---
Verdete	110,0	292,9	6,0	4,0
Termopotássio	76,0	196,8	255,0	56,0
Fonolito	80,0	251,8	12,5	1,0
Feldspato	149,0	265,8	14,9	0,02
Sienito	110,0	271,0	0,2	0,02

*Determinado segundo a metodologia do EPA,1996.** Determinado segundo metodologia descrita por Komdorfer et al., 2004 ***Segundo a metodologia da Embrapa,1999.

2.3 Condução do experimento

O experimento foi conduzido na casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, e foi constituído de 6 tratamentos, sendo seis fontes de potássio (KCl, Termopotássio, Verdete, Fonolito, Feldspato potássico e sienito), duas doses de potássio (200 e 400 kg de K_2O ha^{-1}) e um tratamento testemunha que não recebeu adubação potássica. O delineamento utilizado no experimento foi inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições.

Cada parcela experimental consistiu de um recipiente plástico, com capacidade para 500 ml, preenchido com 300g da amostra de cada tipo de solo, as quais foram aplicadas os tratamentos. As fontes de potássio KCl, termopotássio, verdete e sienito foram moídas até passar totalmente em uma peneira de 50 mesh (abertura de 0,3 mm); as fontes fonolito e feldspato potássico foram moídas até passar em peneira de 200 mesh (abertura de 0,075 mm). A quantidade de cada fonte de potássio adicionada às amostras de solo foi calculada com base nos teores totais de K_2O (Tabela 04).

TABELA 04. Doses das diferentes fontes de potássio aplicadas para incubar as amostras de dois tipos de solo em um volume de 300g.

Tratamentos	Teor de K_2O Total	Dose de K_2O Aplicada	Dose da fonte Aplicada	Dose da Fonte Aplicada
	%	----- kg ha^{-1}	----- g $300g^{-1}$ solo	
Testemunha	0	0	0	0
KCl	60,0	200	333,3	0,05
KCl	60,0	400	666,7	0,10
Termopotássio	7,9	200	2531,6	0,40
Termopotássio	7,9	400	5063,3	0,79
Verdete	11,0	200	1818,2	0,27
Verdete	11,0	400	3636,4	0,55
Fonolito	8,0	200	2500,0	0,38
Fonolito	8,0	400	5000,0	0,75
Feldspato	14,9	200	1342,3	0,21
Feldspato	14,9	400	2684,6	0,42
Sienito	11,0	200	1818,2	0,27
Sienito	11,0	400	3636,3	0,55

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas numa peneira de 2 mm (TFSA). As fontes de potássio foram adicionadas e posteriormente misturadas, com o auxílio de um saco plástico, ao volume de 300 g das amostras de TFSA. Após isto, foi adicionada água destilada em quantidades iguais em cada recipiente de acordo com 80 % da capacidade de retenção de água de cada tipo de solo e essa umidade do solo foi mantida durante todo período do experimento. O solo permaneceu por 60 dias, período de incubação, nos potes de plásticos tampados, sendo que cada tampa apresentava cinco furos para permitir a evaporação de água e a respiração do solo.

2.5 Avaliações do experimento

Após 60 dias que as amostras de solo foram misturadas com as fontes de potássio, estas foram secas e peneiradas; e parte das amostras de cada unidade experimental foi utilizada para análises de K^+ em Mehlich1 (EMBRAPA, 1999) e em Resina (RAIJ et al., 2001). Estas metodologias permitem estimar quanto do nutriente contido nas fontes foi liberado para o solo ou ainda quanto está disponível para as plantas.

2.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico ASSISTAT e quando o teste F foi significativo ($< 0,05$ %) as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. As médias dos tratamentos foram comparadas com a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância (SILVA; AZEVEDO, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de potássio no solo

Analisando os dados verificou-se que o termopotássio apresentou resultado semelhante a fonte KCl na amostra do RQo, no extrator Mehlich1, seguido da fonte fonolito (Figura 01). As fontes verdete, feldspato potássico, e sienito não foram diferentes da testemunha (Figura 01).

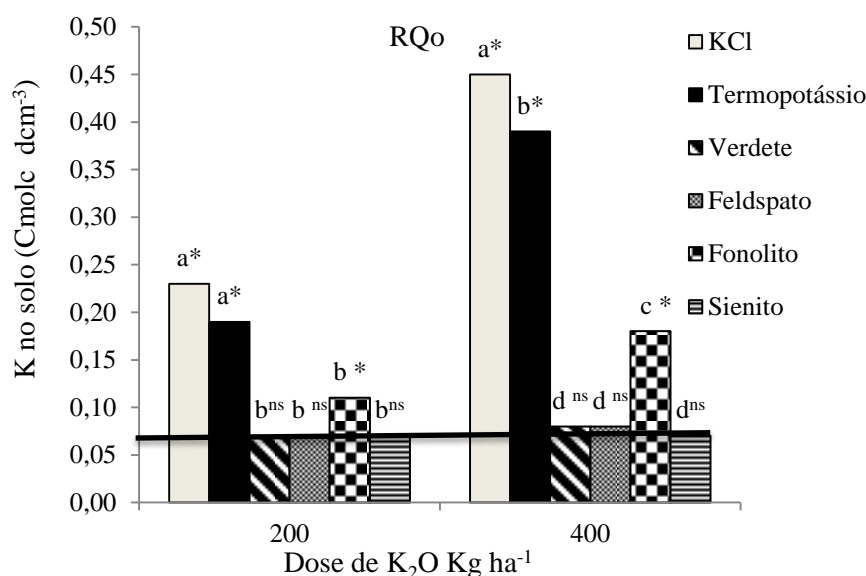


FIGURA 01. Teores de potássio no solo extraído por Mehlich1 das amostras de um RQo. Médias seguidas por letras diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo, ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. A linha reta representa a testemunha.

Quando se utilizou o extrator resina o KCl apresentou os maiores valores nas doses estudadas, 200 e 400 kg ha^{-1} de K_2O , seguido pelos tratamentos termopotássio e fonolito (Figura 2). As fontes verdete, feldspato potássico e sienito não foram diferentes do tratamento testemunha (Figura 2).

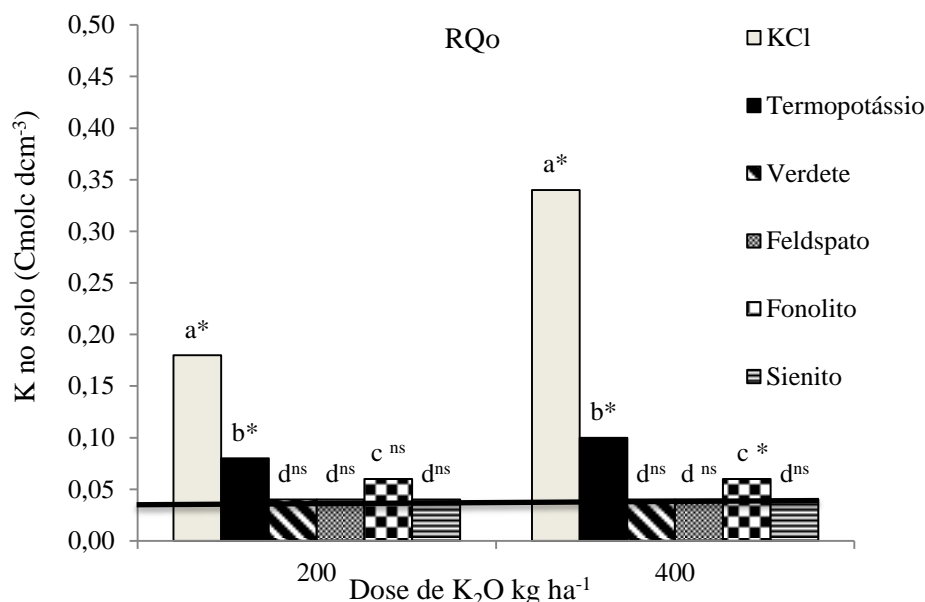


FIGURA 02. Teores de potássio no solo extraído por Resina das amostras de um RQo. Médias seguidas por letras diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo, ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. A linha reta representa a testemunha.

Analisando os resultados dos teores de potássio disponíveis no LVd, obtidos pelo extrator Mehlich1 (Figura 03), não houve diferença entre as fontes KCl e termopotássio na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹, seguidos da fonte fonolito. Na dose de 400 kg de K₂O ha⁻¹ a fonte KCl disponibilizou os maiores teores de potássio no solo seguido das fontes termopotássio e fonolito respectivamente. As fontes verdete, feldspato potássico e sienito não foram diferentes do tratamento testemunha nas doses utilizadas no experimento (Figura 3).

Utilizando a resina como extrator (Figura 04), as fontes KCl e fonolito na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹ foram diferentes do tratamento testemunha respectivamente. Na dose 400 kg ha⁻¹ de K₂O o KCl foi o melhor tratamento seguido pelas fontes termopotássio e fonolito. Não houve incrementos significativos de potássio ao solo pelas fontes verdete, feldspato potássico e sienito (Figura 4).

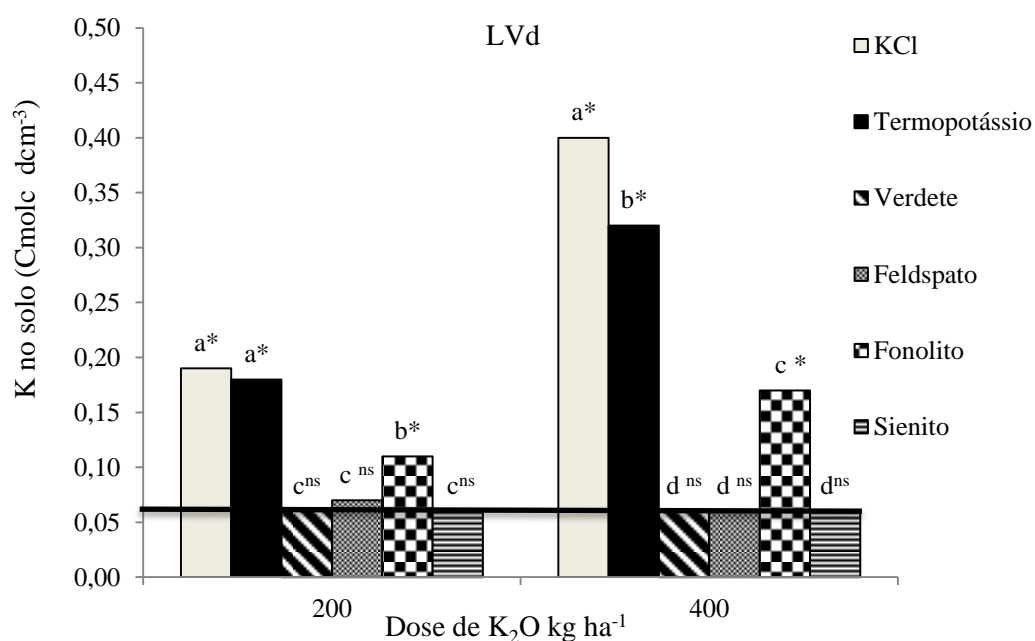


FIGURA 03. Teores de potássio no solo extraído por Mehlich1 das amostras de um LVd. Médias seguidas por letras diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo, ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. A linha reta representa a testemunha.

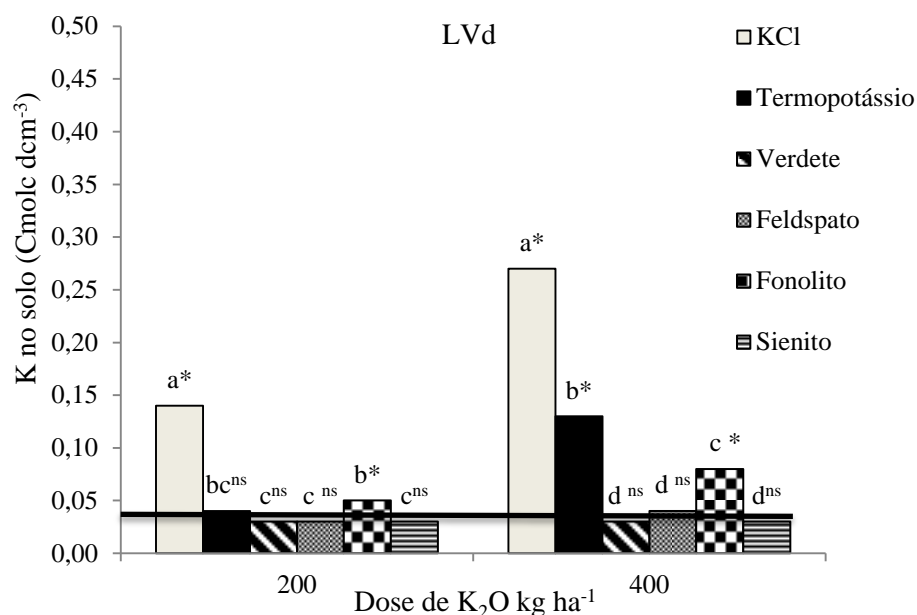


FIGURA 04. Teores de potássio no solo extraído por Resina das amostras de um LVd. Médias seguidas por letras diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo, ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância. A linha reta representa a testemunha.

Devido a maior solubilidade do KCl, os maiores valores de potássio no solo foram encontrados ao utilizar esta fonte. (Figuras 1 a 4). Este comportamento já era esperado porque segundo FAQUIN et al. (1987), a eficiência das fontes alternativas de potássio em geral são inferiores ao KCl, pelo menos a curto prazo.

O fonolito apresentou incrementos de potássio nos dois solos estudados (Figuras 1 a 4). Este desempenho pode estar relacionado a sua constituição mineralógica e a granulometria extremamente fina (200 mesh) promovendo maior reação com o solo. Este resultado é similar ao encontrado por Barbosa Filho (2006) que realizou experimento de incubação com duas rochas silicatadas, ultramarfita e brecha alcalina, em dois tipos de solo; Latossolo Amarelo distrófico de textura arenosa, e Latossolo Vermelho distrófico de textura franco argilosa, constatando que os maiores teores de potássio foram encontrados quando os materiais de rocha foram aplicados após passar em peneiras de 45 e 60 mesh.

O termopotássio foi eficiente em liberar potássio para o solos (Figuras 1 a 4). Este resultado é semelhante ao encontrado por Duarte (2012), que ao trabalhar com termopotássio em um teste de incubação, verificou que esta fonte apresentou resultado similar ao KCl ao liberar potássio para o solo. Esta eficiência do termopotássio é devido ao tratamento térmico realizado na rocha (verdete) que proporciona uma maior solubilidade do material.

Os tratamentos verdete, feldspato e sienito aplicados moídos não foram capazes de liberar o potássio presente em sua estrutura (Figuras 1 a 4). Segundo Siqueira et al. (1985), rocha potássica in natura, apenas moída, não serve como fonte de potássio para as plantas devido à dificuldade de liberação desse nutriente para o solo.

4 CONCLUSÕES

O termopotássio foi capaz de aumentar os teores de potássio nas amostras de solo, similar ao KCl quando se utilizou o extrator Mehlich 1, e menos potássio quando se utilizou o extrator resina. O fonolito foi capaz de aumentar os teores de potássio nas amostras de solo, porem, em menor quantidade comparado ao KCl e o termopotássio. As fontes verdete, feldspato e sienito não aumentaram os teores trocáveis de potássio nas duas amostras de solo.

REFERÊNCIAS

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas. **Espaço & Geografia**, Goiania, v. 9,p 63-84, 2006.

DUARTE, I.N. **Termopotássio**: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999, 212p.

EPA- Environmental Protection Agency, USA. **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052)**. U.S. EPA, 20p, December, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

FAQUIN, V.; KINJO, T. & MALAVOLTA, E. **Efeito do tratamento térmico da mistura de sienito nefelínico com calcário dolomítico na disponibilidade de potássio ao milho, em solo de cerrado**. R. Bras. Ci. Solo, 11:221-228, 1987.

KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H.S., NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico; 02).

RAIJ B .van.; et al. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas-SP, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

SILVA, F. DE A. S. E. e AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SIQUEIRA, J.O.; GUEDES, G.A.A.; RIBEIRO, M.A.V. Disponibilidade do potássio do sienito nefelínico de poços de caldas, avaliada em cultivos sucessivos com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, p.299-307, 1985.

CAPÍTULO 2

RESUMO

Lixiviação de potássio de diferentes fontes de potássio em dois tipos de solo.

No solo, o potássio quando presente na solução pode ser perdido por lixiviação de acordo com a quantidade de água, da dose do elemento aplicado e, até mesmo, da textura do solo. As perdas de potássio, por percolação ou lixiviação, podem ser reduzidas com emprego de fontes menos solúveis. Esse experimento teve como objetivo avaliar as perdas por lixiviação do potássio proveniente do cloreto de potássio granulado, Fonolito e Feldspato aplicados em amostras de dois tipos de solos, um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd). O experimento foi realizado na casa-de-vegetação e foram utilizados quatro tratamentos (testemunha, KCl, Fonolito e Feldspato), em colunas de lixiviação, com 20 cm de diâmetro e 80 cm de altura. O delineamento usado foi inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. As amostras de solo foram adicionadas nos lisímetros, depois foram colocadas em sua capacidade de campo e os tratamentos aplicados e incorporados a 5 cm de profundidade. As colunas foram irrigadas por 30 dias, com uma quantidade de água equivalente a uma chuva de 477 mm. A solução do solo foi recolhida a cada dois dias e armazenada em galões de 50 L. Ao final do experimento foram determinados os teores de potássio presentes no lixiviado e em cada anel da coluna. O fonolito e o feldspato potássico são menos solúveis e, portanto menos sujeito a perdas por lixiviação se comparado com o cloreto de potássio. A perda de potássio por lixiviação foi maior no solo arenoso se comparado com o solo argiloso.

Palavras-chave: solo; percolação; lisímetros; K.

ABSTRACT

Potassium leaching from different sources potassium in two types of soil

Potassium present in the soil solution can be lost by leaching depending on the amount of water, application rate and even soil texture. Potassium losses by percolation leaching can be reduced using less soluble sources. This test determined leaching losses of potassium from KCl, feldspar and phonolite applied on samples from two soil types, a Ustoxic Quartzipsamment (RQo) and an Oxisol Red (LVd). The experiment was conducted in a greenhouse. Three sources of potassium (KCl, feldspar and phonolite) and a control were placed in leaching columns (20 x 80-cm). The experimental design was completely randomized with three replications. The columns were filled with soil and moistened to field capacity, and the potassium sources were incorporated into the top 5 cm layer. Subsequently, the soils were incubated for 30 days with water equivalent to total 477 mm of rainfall. Soil solution was collected every two days and stored in 50 L containers. At the end of the experiment potassium content was determined in the leachate and in the soil in each ring of the column. In both soil types, phonolite and feldspar supplied more potassium to the top of soil layer (0-5 cm) than KCl which supplied more potassium to lower layers. Therefore, potassium from KCl is more leachable than phonolite and feldspar in all layers of the ring. KCl supplied more potassium in subsurface layers than that phonolite and feldspar.

Keywords: soil, percolation; lysimeters; K.

1 INTRODUÇÃO

O potássio, quando presente na solução do solo, movimenta-se verticalmente, principalmente, por fluxo de massa e pode ser perdido por lixiviação, ou seja, transportado para profundidades além daquelas ocupadas pelas raízes (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985). A perda por lixiviação depende de condições como a quantidade de água, da dose do elemento aplicado, da textura do solo e CTC (capacidade de troca catiônica) do solo, mostrando a importância da escolha da fonte e do manejo a ser aplicado no solo (ROSOLEM et al., 2006).

Sais de potássio de alta solubilidade são facilmente lixiviados, especialmente em solos arenosos, já que apresentam baixa CTC (capacidade de troca de cátions). O cloreto de potássio (KCl), principal fonte de potássio utilizada na agricultura brasileira, é um sal altamente solúvel em água, sendo que, em média, dos 60 % do K_2O presentes no KCl, 58 % são solúveis em água, portanto a principal perda desse nutriente é por lixiviação (YAMADA; ROBERTS, 2005). Essa perda pode ser reduzida com emprego de fontes menos solúveis (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985), como rochas moídas ou tratadas termicamente.

Objetivou-se avaliar, nesse experimento, as perdas por lixiviação do potássio proveniente do cloreto de potássio granulado, fonolito e do feldspato aplicados em amostras de dois solos com texturas diferentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das fontes de potássio

Para este estudo foram utilizados três fontes de potássio (cloreto de potássio granulado-comercial, fonolito e feldspato potássico) mais um tratamento testemunha, aplicados em dois tipos de solos (LVd e RQo). Foi aplicado a dose equivalente a 3000 kg ha⁻¹ de K_2O de cada fonte, incorporadas no solo a profundidade de 5 cm (primeiro anel do lisímetro). A caracterização química das fontes de potássio utilizada neste experimento encontra-se na Tabela 05.

TABELA 05. Caracterização química das fontes de potássio utilizadas no experimento.

FONTE	K ₂ O Total*	Si Total**	CaO Total***	MgO Total***
	----- g kg ⁻¹ -----			
KCl	600,0	---	---	---
Fonolito	80,0	251,8	12,5	1,0
Feldspato	149,0	265,8	14,0	0,02

*Determinado segundo a metodologia do EPA,1996,** Determinado segundo metodologia descrita por Korndorfer et al., 2004 ***Segundo a metodologia da Embrapa,1999.

2.2 Condução do experimento

O experimento foi instalado na casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Os tratamentos foram aplicados em amostras de um LVd e de um RQo (Tabelas 06 e 07). A dose aplicada de cada tratamento se encontram na tabela 08.

TABELA 06. Caracterização química das amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo)

Solo	pH H ₂ O	P	Si	K	Ca	Mg	H+Al	V
		---mg dm ⁻³ ---		-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
LVd	4,5	0,3	3,5	0,05	0,1	0,1	2,3	8
RQo	4,8	0,5	3,1	0,03	0,1	0,1	0,5	9

Ca, Mg = (KCl 1 N); P, = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Si = (CaCl₂ 0,01mol L⁻¹)H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); V= Saturação por bases.

TABELA 07. Caracterização textural da amostra de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) utilizados nos experimento de lixiviação.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd	231	485	45	239
RQo	600	222	68	110

Análise textural pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1999).

TABELA 08. Dose de 3000 kg ha⁻¹ K₂O das diferentes fontes de potássio adicionadas e incorporadas superficialmente no primeiro anel da coluna de lixiviação com dois solos (LVd e RQo).

Fontes	Teor de K ₂ O Total	Dose de K ₂ O	Dose da fonte	Dose da Fonte
	%	-----kg ha ⁻¹ -----	-----	---g coluna ⁻¹ *----
Testemunha	0	0	0	0
KCl granulado	60,0	3000	5000	15,71
Fonolito pó	8,0	3000	37500	117,75
Feldspato pó	14,9	3000	20134	67,30

*Calculado com base na área da circunferência ($\pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,10^2 = 0,0314 \text{ m}^2$).

2.3 Avaliações do experimento

Os solos, depois de acondicionados nos lisímetros (Figuras 06 e 07) foram umedecidos até atingirem 80 % da capacidade de campo. Durante o período de 30 dias, foi adicionado em cada coluna diariamente 500 mL de água com auxílio de um becker , simulando uma irrigação equivalente a uma chuva de 477 mm (15l/0,0314 m²). A solução de solo (água mais nutrientes) que passou pelo perfil do solo foi coletada a cada dois dias (Figura 08). Ao final desse período as amostras foram analisadas quanto ao teor de K. A quantidade de K⁺ lixiviada foi calculada com base no volume de líquido lixiviado multiplicado pelo teor de K na solução do solo.



FIGURA 05. Base da coluna de lixiviação, com manta acrílica e papel de filtro.



FIGURA 06. Coluna de lixiviação montada com anéis de 5 e 10cm , totalizando 80 cm.



FIGURA 07. Garrafas plásticas para a coleta da solução do solo (lixiviado).

2.5 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se um esquema fatorial 4x2, sendo três fontes de potássio mais um tratamento testemunha e dois tipos de solos (LVd e RQo). O delineamento usado foi inteiramente casualizados (DIC) com três repetições. Os dados coletados foram submetidos a análises de variância utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Quando o Teste F foi significativo ($< 0,05\%$), as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância.

3-Resultados e Discussão

3.1 Teor de potássio na solução

O K lixiviado proveniente do cloreto de potássio é significativamente maior do que o oriundo das fontes testadas. Somente o KCl diferiu do tratamento testemunha com relação ao K lixiviado. Este resultado indica que as demais fontes são de baixa solubilidade, e, portanto menos sujeito a lixiviação se comparado com o cloreto de potássio.

A porcentagem do K total aplicado no solo recolhida na coluna de lixiviação proveniente do Feldspato potássico e Fonolito foi 0%, enquanto que do KCl foi em média 82,0% (Tabela 09). O potássio foi mais lixiviado no solo RQo do que no solo LVd mostrando que a textura do solo influencia significativamente nas perdas do potássio por lixiviação (Tabela 09). Segundo Mielniczuk (1982) para uma mesma quantidade de K total haverá menos K na solução em solos com alta CTC (solos argilosos), o que refletirá em menores perdas de K por lixiviação, menor retirada desnecessária de K pelas plantas e maiores reservas de K para as culturas. Principalmente em solos arenosos, doses de K_2O acima de 60 a 80 kg ha⁻¹ recomenda-se o parcelamento da adubação potássica visando principalmente reduzir as perdas do K^+ por lixiviação e o efeito salino dos adubos sobre as sementes na instalação das culturas (Alvarez V., 1999; Raij et al., 1997).

TABELA 09. Quantidade de K coletada no lixiviado depois de uma irrigação de 477 mm durante um período de 30 dias, em 2 tipos de solos (LVd e RQo) e para diferentes fontes de potássio aplicadas superficialmente.

Solo	Fontes de K				Médias
	KCl	Fonolito	Feldspato	Testemunha	
	----- K lixiviado (g coluna ⁻¹) -----				
RQo (11% argila)	6,6(84)	0,10 (0,0)	0,10 (0,0)	0,11	1,7a
LVd (23% argila)	6,4(81)	0,07 (0,0)	0,06 (0,0)	0,08	1,6b
Médias	6,5 B	0,08A	0,08A	0,09A	
CV% = 16,51	DMS solo = 0,24		DMS fonte = 0,47		

*Médias seguidas por letras distintas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

**Valores entre parênteses representam a porcentagem do K aplicado proveniente do fertilizante perdido por lixiviação e calculada segundo a seguinte equação: % K perdido por lixiviação = $[(K \text{ lixiviado da fonte (g)} - K \text{ lixiviado da testemunha (g)}) / K \text{ total aplicado na adubação (g)}] \times 100$.

3.2 Teor de potássio no solo

Em relação ao teor de potássio no solo determinado em cada anel da coluna de lixiviação (Figuras 09 e 10) o KCl apresentou os maiores teores de K em todas as camadas dos dois solos estudados. O Fonolito diferiu da testemunha apenas na camada de 0-5 cm de profundidade. O Feldspato potássico não diferiu da testemunha.

Houve também diferença estatística em relação as diferenças no teor de K entre as camadas de solo. O potássio proveniente do cloreto de potássio foi encontrado em maior concentração na camada de 70-80 cm de profundidade e o menor teor foi encontrado na camada de 20 a 60 cm de profundidade (Figuras 09 e 10). Segundo Sanzonowicz & Mielniczuk (1985), as perdas de K por percolação ou lixiviação podem ser reduzidas com emprego de fontes menos solúveis e/ou portadoras de ânions pouco moveis no solo.

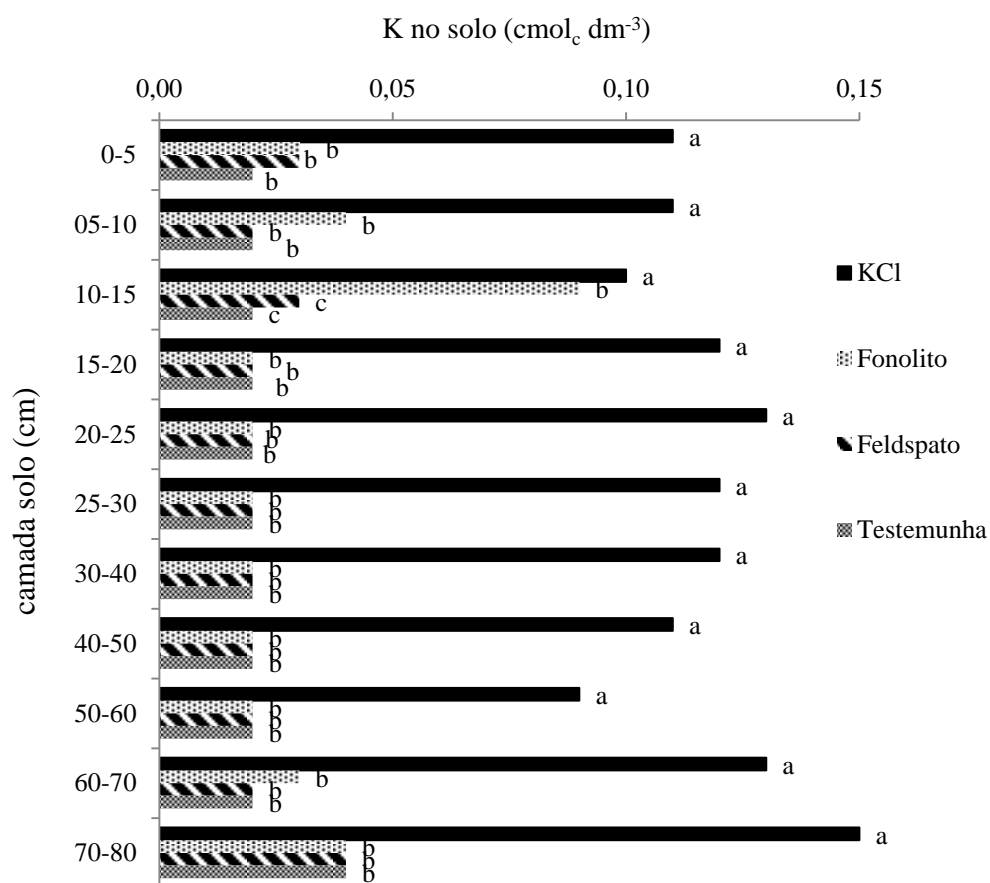


FIGURA 08. Teores de potássio extraído (Resina) nas camadas de amostras de um RQo colocadas em lisímetro e submetidas a aplicação de diferentes fontes de potássio. Letras distintas para profundidade diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

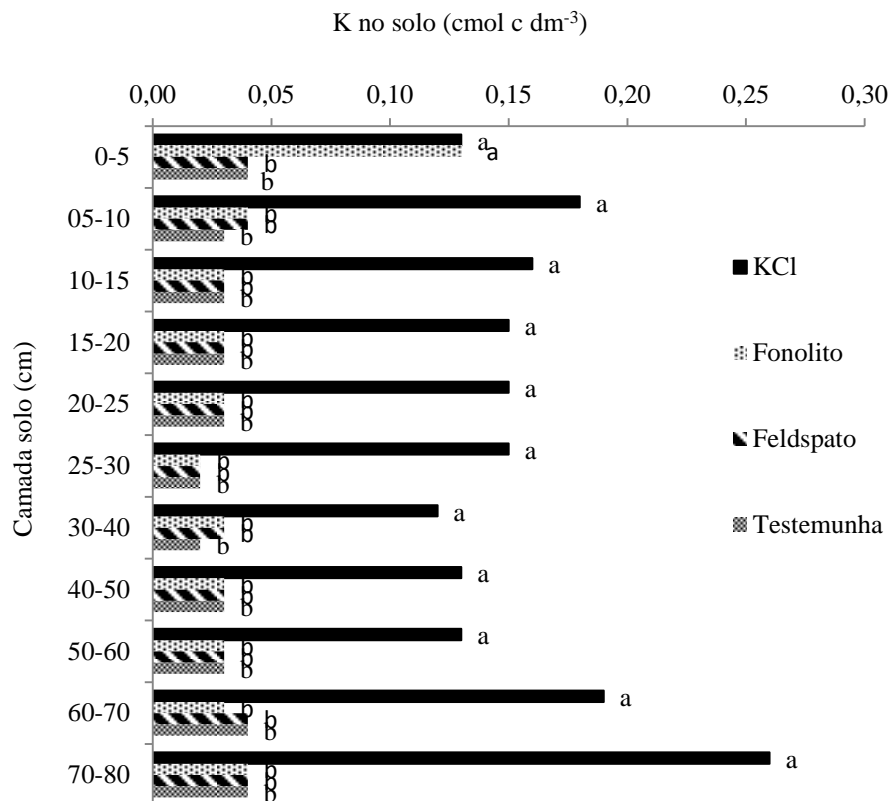


FIGURA 9. Teores de potássio extraído (Resina) nas camadas de amostras de LVd colocadas em lisímetro e submetidas a aplicação de diferentes fontes de potássio. Letras distintas para profundidade diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A percolação do potássio proveniente do KCl variou conforme o tipo de solo, os teores de potássio na camada de 70-80 cm no LVd foi maior que no RQo, sendo respectivamente 0,25 e 0,15 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figuras 09 e 10). Este resultado é semelhante ao apresentado por Duarte (2012) que ao trabalhar com solo LVd e RQo ,utilizando KCl e termpotássio como tratamentos, verificou que a maior percolação do K proveniente do KCl foi encontrado nas camadas de 70-80cm com 0,4 e 02 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de potássio.

Concordam ainda com Ernani et al. (2007) ; estes autores verificaram que o teor proveniente do KCl foi maior no Nitossolo, com 55% de argila, do que no Cambissolo, com 39 % de argila, nas camadas mais profundas das colunas de lixiviação.

A quantidade perdida por lixiviação é proporcional a concentração inicial do solo, a quantidade de agua, a dose do elemento e também a textura do solo (ROSOLEM et al., 2006), (CIOTTA et al., 2002).

4-Conclusões

O fonolito e o feldspato são menos solúveis e, portanto menos sujeito a perdas por lixiviação se comparado com o cloreto de potássio. A perda de potássio por lixiviação foi maior no solo RQo se comparado com o LVd.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. **Interpretação dos resultados das análises de solo**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a Aproximação*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.21-25.
- CIOTTA, M.N.; et al.. **Acidificação de um Latossolo sob plantio direto**. R. Bras.Ci. Solo, 26:1055-1064, 2002.
- DUARTE, I.N. **Termopotássio**: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- EPA- Environmental Protection Agency, USA. **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052)**. U.S. EPA, 20p, December,1996. Disponível em : <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>> Acesso em: 20 jan. 2013.
- ERNANI, P.R., ALMEIDA, J.A., SANTOS, F.C. **“Potássio”**, In: NOVAIS, R.B., et al (eds), *Fertilidade do Solo*, capítulo 9, Viçosa, Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro- RJ). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 .ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro, 1999, 212p
- FERREIRA, D. F. **SISVAR**: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium,Lavras,v.6, p.36-41, 2008.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA. H. S.; NOLLA. A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2)
- MIELNICZUK, J. **Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração** - experiências brasileiras.In: YAMADA, T.; IGUE, T.; MUZILLI, O. & OSHERWOOD, N.R., eds. *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982.556p.
- RAIJ, B.van. et al.; eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285p
- ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P. dos; FOLONI, J.S.S.;CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubaçãosobre a palha de milheto e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1033-1040, 2006.
- SANZONOWICKZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.9 p. 45-50, 1985.

YAMADA, T.; ROBERTS,T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, 2005.841p.

CAPÍTULO 3

RESUMO

Fontes de potássio de baixa solubilidade para a cultura do milho.

O milho é uma espécie vegetal bastante requerente em potássio. Rochas ricas em potássio são possíveis fontes alternativas de potássio para as culturas. O objetivo desse trabalho foi avaliar aplicação de rochas minerais moídas e rocha após tratamento térmico como fonte de potássio para a cultura do milho. Esse experimento foi conduzido em casa de vegetação, usando amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd). O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), no esquema fatorial $7 \times 2 + 1$, sendo 7 fontes de potássio: KCl, fonolito, feldspato, sienito, verdete, termopotássio em pó (TK-Pó) e termopotássio granulado (TK-GR); e duas doses de K_2O (100 e 200 kg de K_2O ha⁻¹) e um tratamento adicional que não recebeu adubação potássica. Foram realizados dois cultivos consecutivos do milho, no segundo cultivo não houve reaplicação das fontes. Nos dois cultivos, a parte aérea do milho foi colhida aos 30 dias após a semeadura. Ao final dos experimentos foram analisados, a produção de matéria seca, o teor de potássio, cálcio e magnésio nas plantas, o acúmulo desses nutrientes pelas plantas e o potássio e silício no solo. A aplicação TK-Pó no solo aumentou o potássio acumulado na parte aérea do milho e a sua produção de matéria seca principalmente no solo LVd. Considerando a soma dos dois cultivos consecutivos, o índice de eficiência agrônômica do termopotássio na forma de pó foi superior ao KCl em ambas amostras de solo. Todas as outras fontes apresentaram índice de eficiência agrônômica inferior ao KCl e ao TK-Pó.

Palavras-chave: rocha moída, *Pennisetum glaucum* L, termopotássio, fonolito, sienito

ABSTRACT

Agronomic efficiency of different sources of potassium in millet crop

Millet is a grass that responds to potassium fertilization. Rocks rich in potassium are possible alternative sources of potassium for crops. This study evaluated the application of rock powder and thermally treated rock as potassium sources, for growing millet and compare Mehlich 1 and resin in the determination of exchangeable potassium in the soil. The experiment was done in a greenhouse. The soils used were, an Oxisol Red (LVd) and a Ustoxic Quartzipsamment (RQo). The experimental design was randomized blocks, with a 3 repetitions as a 7x2+1 factorial, containing seven sources (phonolite, feldspar, nepheline, verdet, and thermally treated rock, thermopotash granulated (TK-GR) and powder (TK-Pó) at doses (100 and 200 kg ha⁻¹) and additional treatment with no fertilization. Millet was grown in the same pot two consecutive times. In the second crop there was no replication of the potassium source. In two both crops millet was harvested 30 days after sowing. At the end of each experiment, dry matter, K⁺, Ca⁺ and Mg⁺ contents in millet ground matter, and accumulated in millet ground matter, K⁺ and Si soil were analyzed. For two consecutive crops, the agronomic efficiency of TK-Pó was greater than KCl in both soil samples, LVD and RQo. Millet absorbed potassium, calcium and magnesium, supplied by TK-Pó. The agronomic efficiency of TK-GR, verdet, feldspar, phonolite and nepheline were lower than KCl and TK-Pó both in LVD and RQo. In conclusion only TK-Pó can be used as a potassium source in millet.

Keywords: rock, *Pennisetum glaucum* L, thermopotash, phonolite, syenite

1 INTRODUÇÃO

O potássio é o segundo macronutriente em teor contido nas plantas. É, depois do fósforo, o nutriente mais consumido pela agricultura brasileira (RAIJ, 1991). Malavolta (1980) relatou valores de produção de massa seca de forrageiras como o milheto (*Pennisetum glaucum*), variando de 13 mil a 25 mil kg ha⁻¹ e valores de K, extraídos pela parte aérea de, 200 a 500 kg ha⁻¹ demonstrando a importância deste elemento.

A principal fonte de potássio para as culturas é o Cloreto de potássio. O Brasil é o maior consumidor desse fertilizante. A produção brasileira, embora tenha crescido nos últimos anos, está ainda muito abaixo da demanda interna, esta produção supre, apenas, 9% dessa necessidade; sendo o restante, 91%, importado (IBRAM, 2011).

A balança comercial brasileira é desfavorecida neste caso, justificando a necessidade de pesquisas com outras fontes não convencionais de potássio para o país. (MARTINS, et al., 2008). Duarte, 2012, em seu trabalho utilizando termopotássio, como alternativa ao KCl, demonstrou que esta fonte foi capaz de suprir a necessidade de potássio para cultura do milheto em dois cultivos sucessivos.

De acordo com Bortolon et al.(2010),um método adequado para avaliar a disponibilidade de nutrientes às plantas deve ser eficiente para uma grande variabilidade de tipos de solo e diferentes tipos de cultura.

Os dois métodos mais utilizados são Mehlich1 e a Resina trocadora de íons. Mehlich1 é uma solução de ácidos que tem a capacidade de extrair o potássio não trocável, superestimando a disponibilidade do nutriente no solo. Já resina trocadora de íons extrai apenas o potássio da solução do solo, pois não apresenta caráter ácido.(YAMADA; ROBERTS, 2005). Ao trabalhar com fontes alternativas ao KCl, pouco solúveis, deve se levar em consideração o método para estimar o K trocável, para evitar a superestimação de teores deste elemento.

Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar aplicação de 4 tipos de rochas moídas, in natura (fonolito, feldspato, sienito e verdete) e rocha tratada termicamente, termopotássio, na forma de pó (TK-Pó) e granulada (TK-GR) como fontes de potássio para a cultura do milheto .

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização química das fontes de potássio e dos solos utilizados.

TABELA 10 - Análise química dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solo	pH H ₂ O	P	Si	K	Ca	Mg	H+Al	V
		----mg dm ⁻³ ---		-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
LVd	4,5	0,3	3,5	0,05	0,1	0,1	2,3	8
RQo	4,8	0,5	3,1	0,03	0,1	0,1	0,5	9

Ca, Mg = (KCl 1 N); P, = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Si = (CaCl₂ 0,01mol L⁻¹)H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); V= Saturação por bases.

TABELA 11 - Análise física dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd	231	485	45	239
RQo	600	222	68	110

Análise textural pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1999).

2.2 Condução do experimento

Foi instalado um experimento com milho na casa-de-vegetação, localizada no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. Foram utilizados dois tipos de amostras: Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo). O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com três repetições, segundo um esquema fatorial 7x2+1, sendo 7 fontes de potássio (KCl, fonolito, feldspato, sódio, verde, TK-Pó e TK-GR), em duas doses (100 e 200 kg de K₂O ha⁻¹) e um tratamento adicional que não recebeu adubação potássica. A quantidade de cada fonte de potássio adicionada aos solos foi calculada com base nos teores totais de K₂O (Tabela 12) e o cloreto de potássio foi utilizado como fonte padrão com a qual as demais fontes de potássio foram comparadas.

TABELA 12. Doses das diferentes fontes de potássio aplicadas em duas amostras de solos LVd e um RQo acondicionados em vasos de 5 kg.

FONTES	Teor de K ₂ O Total	Dose de K ₂ O Aplicada	Dose da fonte	Dose da fonte
	--- % ---	----- kg ha ⁻¹ -----		g 5kg ⁻¹ solo
Testemunha	0	0	0	0
KCl	60,0	100	166,66	0,42
KCl	60,0	200	333,33	0,83
TK-Pó	7,6	100	1315,78	3,28
TK-Pó	7,6	200	2631,57	6,57
TK-GR	7,6	200	2631,57	6,57
TK-GR	7,6	200	2631,57	6,57
Fonolito	8,0	100	1250,00	3,12
Fonolito	8,0	200	2500,00	6,25
Feldspato	14,9	100	671,14	1,67
Feldspato	14,9	200	1342,28	3,35
Sienito	11,0	100	1818,18	2,27
Sienito	11,0	200	3636,36	4,55
Verdete	11,0	100	3636,36	2,27
Verdete	11,0	200	1818,18	4,55

2.3 Cultivos

Foram realizados dois cultivos consecutivos com o objetivo de avaliar o efeito residual das fontes de potássio. Para ambos os cultivos as unidades experimentais foram constituídas de vasos contendo 5 kg de amostra de terra fina seca ao ar (TFSA).

Com o objetivo de elevar a saturação por bases para 60% os solos receberam antes da semeadura do primeiro cultivo CaCO₃ + MgCO₃ na proporção 3:1, as amostras de solo ficaram incubadas por 30 dias e após esse período, e antes da semeadura do milho, os solos receberam 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 600 kg ha⁻¹ de fósforo, provenientes das fontes sulfato de amônio e superfosfato simples, respectivamente, e o equivalente a 100 kg ha⁻¹ do produto FTE BR-12 contendo 9 % Zn; 7,1 % Ca; 5,7 % S; 2 % Mn; 1,8 % B; 0,8 % Cu; 0,1 % Mo.

Para ambos os cultivos, foi utilizado a cultivar ADR500 de milho, este foi semeado na profundidade de 2 cm, distribuindo-se 20 sementes viáveis por vaso. Após a emergência das sementes foi efetuado o desbaste, deixando seis plantas por vaso. Aos 15 DAS (dias após a semeadura) do milho, foi feita a adubação de cobertura com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, utilizando como fonte, o sulfato de amônio. Aos 30 DAS, foi feita a colheita da parte aérea do milho, posteriormente retirou-se uma amostra de solo para análise, com o auxílio de um mini trado.

Após o primeiro cultivo, os solos dos vasos foram secos ao ar e depois passados em uma peneira de 2 mm para remover as raízes do milho. O solo foi recolocado aos os vasos e realizou-se um novo cultivo, no qual não foram reaplicadas as fontes de potássio, apenas o superfosfato simples, o sulfato de amônio e o FTE BR -12 nas mesmas quantidades do primeiro cultivo.

2.4 Análises da parte aérea do milho

Nos dois cultivos do milho a parte aérea das plantas foi colhida aos 30 DAS, foram colocadas em sacos de papel e levadas para a estufa a 65° C, para secagem até obterem peso constante. As plantas foram pesadas para obtenção da massa seca, e em seguida foram moídas para determinar concentração de potássio, de cálcio e de magnésio na parte aérea do milho, segundo metodologia descrita por Embrapa (1999). A quantidade dos nutrientes acumulados pela parte aérea foi obtida através dos resultados de produção de massa seca multiplicado pela concentração do nutriente na parte aérea do milho.

2.5 Análises de solo

Foram retiradas amostras de solo de cada vaso, com auxílio de um mini trado, para determinar o potássio trocável no solo com o extrator Mehlich1, pela metodologia descrita pela EMBRAPA (1999) e com o extrator Resina, segundo a metodologia de Raij et al. (2001) e de silício no solo segundo metodologia descrita por Korndörfer et al.(2004).

2.6 Cálculo do índice de eficiência agronômica (IEA)

Utilizando a soma da matéria seca da parte aérea do milheto (MSPA) nos dois cortes consecutivos do milheto e nas duas doses utilizadas, calculou-se o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes de potássio para cada tipo de solo segundo a Equação 1:

Equação 1:

$$\text{IEA (\%)} = \frac{\text{MSPA da fonte} - \text{MSPA sem potássio}}{\text{MSPA com KCl} - \text{MSPA sem potássio}} \times 100$$

2.7 Percentual de potássio recuperado

Utilizando a soma do potássio acumulado na parte aérea (K acumulado) dos dois cortes consecutivos do milheto, calculou-se a recuperação do potássio proveniente das fontes de potássio segundo a Equação 2:

Equação 2:

$$\text{K recuperado (\%)} = \frac{\text{K acumulado da fonte} - \text{K acumulado da testemunha}}{\text{Potássio aplicado no solo}} \times 100$$

2.8 Análises Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa estatístico denominado ASSISTAT, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Cada tratamento foi comparado com a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância (SILVA; AZEVEDO, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)

3.1.1 Produção de matéria seca da parte aérea

No primeiro cultivo a fonte que proporcionou a maior produção de matéria seca em um solo RQo foi o KCl seguido pela fonte TK-Pó (Tabela 13). As fontes Fonolito e TK-GR apresentaram produção de massa seca média semelhante (Tabela 13). Não houve produção significativa de matéria seca quando se utilizou os tratamentos

Verdete, Feldspato e sienito.

No segundo cultivo a fonte TK-Pó proporcionou o maior valor de massa seca (Tabela 13) seguido pela fonte padrão KCl. As fontes TK-GR, verdete, feldspato, fonolito e verdete produziram massa seca semelhante ao tratamento testemunha (Tabela 13). Fica evidente que a menor granulometria favoreceu a produção de matéria seca nos dois cultivos quando se compara as fontes TK-Pó e TK-GR (Tabela 13)

Este resultado é próximo ao encontrado por Duarte (2012), que trabalhou com Termopotássio farelado fino em um solo RQo como fonte de potássio para cultura do milho em casa de vegetação; esta fonte foi capaz de aumentar a produção de matéria seca após dois cultivos sucessivos. Este autor também evidenciou a baixa eficiência da aplicação de rocha in natura moída, ao usar verdete.

TABELA 13. Produção de matéria seca da parte aérea do milho após 30 dias da semeadura em dois cultivos sucessivos, cultivado em solo RQo e aplicando diferentes fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo						Segundo cultivo					
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias		
	100		200			100		200				
	-----g vaso ⁻¹ -----											
Testemunha			2,3						0,6			
KCl	7,4 [*]	aB	9,5 [*]	aA	8,5	a	1,5 ^{ns}	bB	3,8 [*]	bA	2,7	b
TK-Pó	6,8 [*]	bB	7,7 [*]	bA	7,3	b	2,7 [*]	aB	6,9 [*]	aA	4,8	a
TK-GR	3,8 [*]	dB	4,9 [*]	cA	4,4	c	0,4 ^{ns}	bA	0,8 ^{ns}	cA	0,6	c
Verdete	1,8 ^{ns}	eB	2,8 ^{ns}	eA	2,3	d	0,2 ^{ns}	bA	0,7 ^{ns}	cA	0,4	c
Feldspato	2,0 ^{ns}	eB	3,4 ^{ns}	dA	2,6	d	0,4 ^{ns}	bA	0,4 ^{ns}	cA	0,5	c
Fonolito	4,3 [*]	cA	4,9 [*]	cA	4,6	c	0,7 ^{ns}	bB	1,4 ^{ns}	bA	1,2	c
Sienito	1,7 ^{ns}	eB	2,7 ^{ns}	eA	2,3	d	0,3 ^{ns}	bA	0,5 ^{ns}	cA	0,6	c
MÉDIA	4.2	B	4.8	A			0.97		1.9	A		

1º Cultivo: CV% = 11,8; DMS Dunnet = 1,3 DMS Dose = 0,33 DMS Fonte = 0,97

2º Cultivo: CV% = 33,0; DMS Dunnet = 1,5 DMS Dose = 0,30 DMS fonte = 0,86

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; ns : não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Ao analisar o somatório da matéria seca dos dois cultivos na dose 100 de K₂O kg ha⁻¹ (Figura 10) a fonte TK-Pó apresentou o maior resultado seguido pela fonte KCl. Ainda na Figura 10 observa-se que a fonte fonolito (rocha), foi superior ao TK-GR (termofertilizante) na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹. As fontes verdete, feldspato e sienito não foram diferentes ao tratamento testemunha (Figura 10)

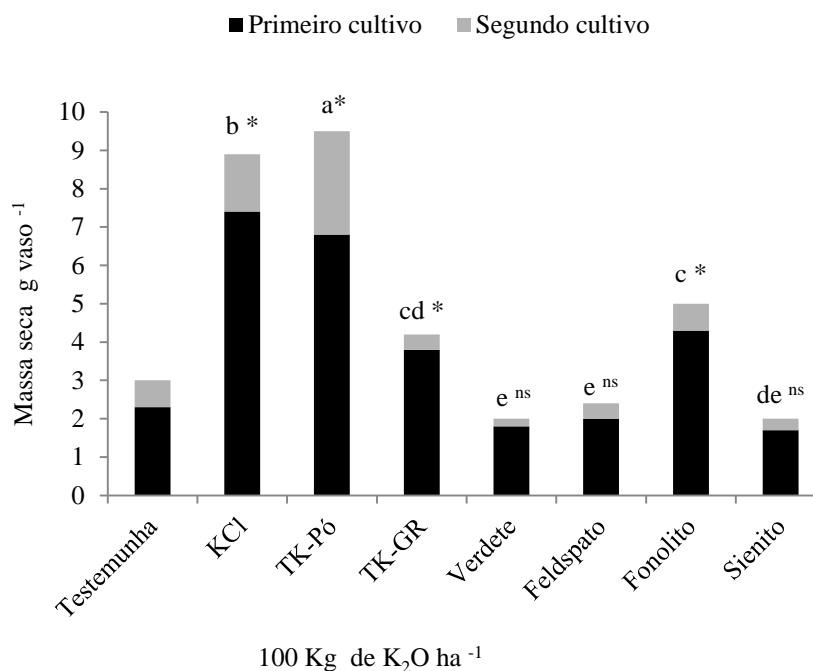


FIGURA 10. Produção de matéria seca acumulada nos dois cultivos na dose de 100 kg de K₂O ha⁻¹ no (RQo). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Analisando a figura 11 verifica-se que o somatório da massa seca nos dois cultivos na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹, os tratamentos TK-Pó e KCl foram semelhantes e superiores aos demais tratamentos. As fontes fonolito e TK-GR apresentaram valores próximos (Figura 11). Os tratamentos verdete, feldspato e sienito não apresentaram somatório médio da massa seca do milho diferente do tratamento testemunha (Figura 11).

Resultado similar ao encontrado por Eichler e Lopes (1983) que após três cultivos sucessivos de milho em solo LVd de textura média, verificou que aplicação da mistura verdete do abaete e calcário, calcinados a 1100 °C, proporcionou produção de matéria seca equivalente ao KCl no primeiro cultivo e superior nos cultivos subsequentes, proporcionando uma média de 34g vaso⁻¹ de matéria seca. Concordando com Duarte, (2012) que encontrou valores de massa seca do milho, semelhantes entre as fontes termopotássio e KCl, e superiores ao verdete após dois cultivos sucessivos.

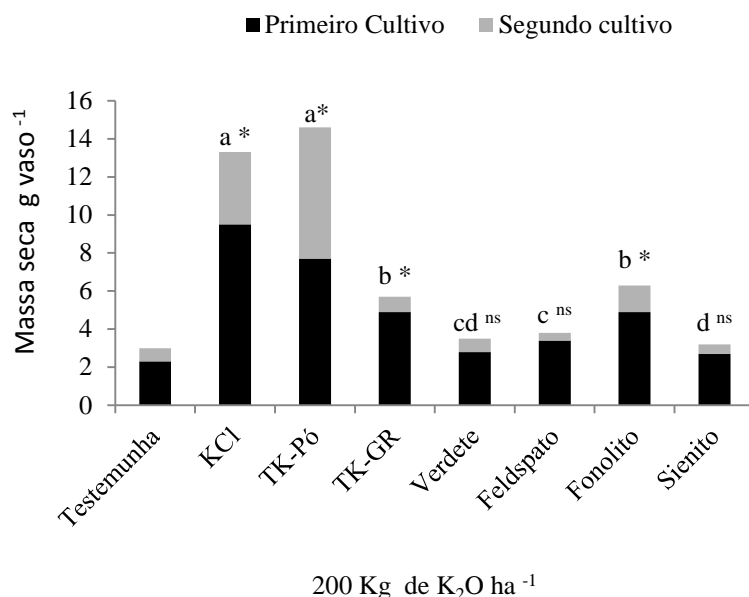


FIGURA 11. Produção de matéria seca acumulada nos dois cultivos na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹ no RQo. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

3.1.2 Concentração de potássio na parte aérea do milho

Aplicação de KCl proporcionou a maior concentração de potássio na parte aérea do tecido vegetal do milho em solo arenoso (RQo) no primeiro cultivo, seguido pelas fontes fonolito e TK-Pó que foram semelhantes (Tabela 14). A maior solubilidade do KCl em relação aos demais tratamentos, permite uma liberação do potássio mais rapidamente ao solo, proporcionando uma maior absorção.

A fonte TK-GR, não foi diferente ao tratamento testemunha no primeiro cultivo (Tabela 14). Provavelmente, a dificuldade de liberação do TK-GR devido a sua granulometria, resultou em uma menor disponibilidade do potássio as plantas.

No segundo cultivo a fonte TK-GR proporcionou a maior concentração de potássio nas doses de 100 e 200 kg de K₂O ha⁻¹, e foi semelhante ao KCl na maior dose (Tabela 14). A fonte TK-Pó apresentou resultado semelhante ao tratamento testemunha. Isto ocorreu devido ao efeito de diluição; uma maior produção da matéria seca (Tabela 13) proporcionou menor concentração do potássio na parte aérea. Este resultado também foi observado por Duarte, (2012) ao trabalhar com termopotássio farelado fino, em dois cultivos de milho no solo RQo; o autor verificou que não houve diferença entre os tratamentos e a testemunha no segundo cultivo. Mesmo que não tenha diferido

da testemunha os valores encontrados ao utilizar TK-Pó, são suficientes para nutrição das plantas, pois segundo Amberg, (2006) plantas bem nutridas apresentam 1% (10 g kg⁻¹) de potássio (Tabela 14).

As fontes verdete, feldspato e sienito não proporcionaram aumento na concentração de potássio na parte aérea do milho nos dois cultivos (Tabela 14). Segundo Cola e Simão (2012), a desvantagem na utilização do pó de rocha está na dificuldade de liberação dos nutrientes que, normalmente estão temporariamente indisponíveis para as plantas, necessitando da atuação de processos biológicos para aumentar a solubilização dos nutrientes.

TABELA 14. Valores de potássio encontrados na parte aérea do tecido vegetal de milho, em dois cultivos sucessivos, após 30 dias da semeadura cultivado em um solo arenoso (RQo) com aplicação de diferentes fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo					Segundo cultivo						
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias		
	100		200			100		200				
----- g kg ⁻¹ -----												
Testemunha	13,4					12,6						
KCl	25,2 [*]	aB	32,5 [*]	aA	28,5	a	14,2 ^{ns}	abB	17,2 [*]	aA	15,7	a
TK-Pó	15,1 [*]	bB	17,8 [*]	bA	16,5	b	11,3 ^{ns}	cB	13,3 ^{ns}	bA	12,2	b
TK-GR	13,0 ^{ns}	cA	12,0 ^{ns}	dB	12,5	c	14,9 [*]	aB	18,8 [*]	aA	16,0	a
Verdete	12,7 ^{ns}	cA	13,3 ^{ns}	cdA	12,9	c	10,3 ^{ns}	bcA	15,1 ^{ns}	bA	12,3	b
Feldspato	13,5 ^{ns}	cA	13,4 ^{ns}	cdA	13,4	c	11,2 ^{ns}	bcA	12,3 ^{ns}	bA	11,7	b
Fonolito	15,8 [*]	bB	18,2 [*]	bA	16,9	b	11,7 ^{ns}	cA	13,1 ^{ns}	bA	12,4	b
Sienito	13,3 ^{ns}	cA	13,6 ^{ns}	cA	16,7	c	12,7 ^{ns}	bA	13,5 ^{ns}	bA	13,1	b
MÉDIA	15,5	B	17,3	A			12,9	B	13,7	A		
1º Cultivo: CV%= 4,1;		DMS Dunnet = 1,31			DMS dose = 0,4;		DMS fonte=0,98					
2º Cultivo: CV%= 6,7;		DMS Dunnet = 2,21			DMS dose = 0,6;		DMS fonte = 1,6					

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns : não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

3.1.3 Potássio acumulado na parte aérea do milho

No primeiro cultivo a quantidade de potássio acumulado pela fonte KCl foi superior as demais fontes nas doses de 100 e 200 kg ha⁻¹ (Tabela 14) seguido respectivamente pelo TK-Pó , fonolito e TK-GR. Os tratamentos verdete, feldspato e sienito não foram diferentes ao tratamento testemunha. Isto demonstra a baixa eficiência destes materiais de rocha aplicados in natura em liberar o potássio presente na sua estrutura.

No segundo cultivo o tratamento TK-Pó foi superior a fonte padrão KCl nas duas doses estudadas e aos demais tratamentos (Tabela 15). A baixa solubilidade dos tratamentos verdete, feldspato, fonolito, sienito e TK-GR, proporcionaram valores que não diferiram do tratamento testemunha (Tabela 15). Este resultado também foi encontrado por Duarte, (2012) onde aplicação de termopotássio farelado fino em solo RQo, proporcionou os maiores quantidade de potássio acumulado em relação ao KCl e a aplicação da rocha in natura verdete.

TABELA 15. Valores de potássio acumulado das diferentes fontes de potássio aplicadas em um solo arenoso (RQo) cultivado com milho em dois cultivos sucessivos 30 dias após a semeadura.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo						
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias						
	100	200		100	200							
	-----mg vaso ⁻¹ -----											
Testemunha			29					8				
KCl	186 [*]	aB	308 [*]	aA	247	a	21 [*]	bB	66 [*]	bA	43	b
TK-Pó	120 [*]	bA	122 [*]	bA	119	b	39 [*]	aB	102 [*]	aA	71	a
TK-GR	48 ^{ns}	cdA	59 [*]	dA	54	d	8 ^{ns}	bcA	14 ^{ns}	cdA	11	c
Verdete	24 ^{ns}	eB	43 ^{ns}	deA	33	e	5 ^{ns}	cdA	9 ^{ns}	bcA	7	c
Feldspato	29 ^{ns}	deB	46 ^{ns}	deA	38	e	6 ^{ns}	cA	6,0 ^{ns}	cdA	6	c
Fonolito	67 [*]	cB	89 [*]	cA	79	c	8 ^{ns}	bcB	20 ^{ns}	cA	14	c
Sienito	28 ^{ns}	eA	42 ^{ns}	deA	35	e	8 ^{ns}	bcB	9 ^{ns}		8	c
Testemunha	73	B	99	A			14	B	32	A		
1º Cultivo: CV% = 10		DMS Dunnet = 20,6;			DMS Dose = 5,3;			DMS Fonte= 15,4				
2º Cultivo: CV% = 25		DMS Dunnet = 13,7;			DMS Dose = 3,5;			DMS fonte = 10,2				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

Em media foi encontrados valores de 119 mg no primeiro cultivo e 71mg vaso⁻¹ no segundo cultivo com a aplicação de TK-Pó (tabela 15) resultado semelhante a Duarte (2012) que trabalhou com termopotássio farelado fino em dois cultivos sucessivos nas doses de 200 e 400 kg de K₂O ha⁻¹ obtendo uma media de 134 mg nos dois cultivos; estes resultados foram superiores ao encontrado por Eichler e Lopes (1983) que ao utilizar verdete calcinado a 1100 °C, encontraram 90 mg vaso⁻¹ e 30 mg vaso⁻¹ de potássio no primeiro e segundo cultivo, respectivamente.

independente da dose utilizada, o somatório do potássio acumulado após os dois cultivos consecutivos, foi maior quando utilizou o KCl, seguido respectivamente pelas

fontes TK-Pó, fonolito e TK-GR. Isso ocorreu pois o KCl disponibilizou mais potássio que as outras fontes, o verdete, feldspato e sienito foram os tratamentos que não diferiram da testemunha (Figura 12 e 13).

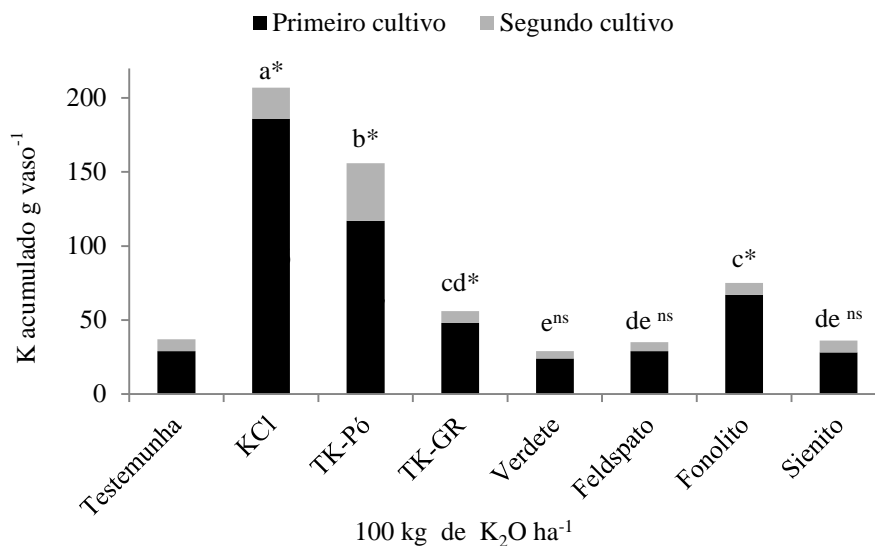


FIGURA 12. Potássio acumulado nos dois cultivos e na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹ no RQo. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

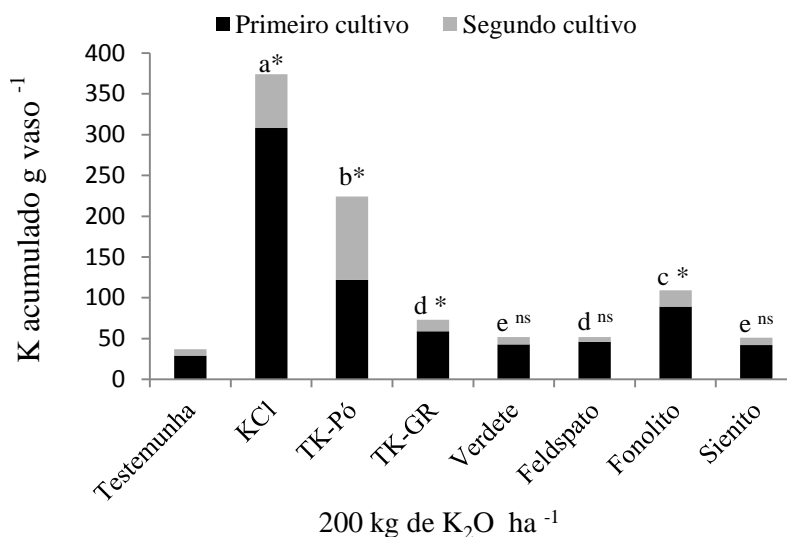


FIGURA 13. Potássio acumulado nos dois cultivos e na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹ no RQo. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

3.1.4 Teor de potássio no solo

A fonte TK-Pó, após dois cultivos sucessivos, apresentou teores trocáveis de potássio superior a todos os tratamentos tanto no extrator Mehlich 1 quanto extrator resina (Tabelas 16 e 17).

Assim pode se inferir que após dois cultivos o potássio liberado da fonte mais solúvel, KCl, foi consumido pelas plantas, e os baixos teores encontrados ao utilizar TK-GR, verdete, fonolito, feldspato e sienito esta relacionado a baixa eficiência destes materiais em liberar o potássio para o solo.

Concordando com Duarte (2012), que encontrou após dois cultivos sucessivos de milho, ao utilizar termopotássio farelado fino, determinado pelos extratores Mehlich1 e resina ,teores de potássio em solo RQo, maior.que as fontes KCl e verdete,.

TABELA 16. Potássio extraído pelo Método Mehlich1 em amostras de solo arenoso (RQo) após 30 dias da semeadura de milho em dois cultivos.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo			Segundo cultivo			
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	
	100	200		100	200		
	----- Cmol _c dm ⁻³ -----						
Testemunha		0,02				0,03	
KCl	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04	b	0,04 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,06 ab
TK-Pó	0,05 ^{ns}	0,09 [*]	0,07	a	0,06 ^{ns}	0,09 [*]	0,07 a
TK-GR	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,06 ab
Verdete	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,04 ab
Feldspato	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 b
Fonolito	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	b	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ab
Sienito	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	b	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ab
MÉDIA	0,03 A	0,03 A			0,05 A	0,05 A	
1º Cultivo: CV% = 24,0;		DMS Dunnet = 0,04;		DMS Dose = 0,01;		DMS Fonte= 0,03	
2º Cultivo: CV% = 29,2;		DMS Dunnet = 0,05;		DMS Dose = 0,01;		DMS fonte = 0,04	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

TABELA 17. Potássio extraído pelo método resina em amostras de solo arenoso (RQo) após 30 dias da semeadura de milho em dois cultivos.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo			Segundo cultivo				
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias		
	100	200		100	200			
	----- Cmol _c dm ⁻³ -----							
Testemunha		0,02			0,02			
KCl	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	ab	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03	a
TK-Pó	0,03 ^{ns}	0,04 [*]	0,03	a	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	a
TK-GR	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	b	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	a
Verdete	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	b	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	a
Feldspato	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	b	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	a
Fonolito	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	b	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	a
Sienito	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	ab	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	a
MÉDIA	0,02 A	0,02 A			0,02 A	0,02 A		
1º Cultivo: CV%= 24; DMS Dunnet = 0,019; DMS Dose = 0,004; DMS Fonte= 0,014								
2º Cultivo: CV% = 22; DMS Dunnet = 0,013; DMS Dose = 0,003; DMS fonte = 0,010								

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns : não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

3.1.5 Teores de Si solo em dois cultivos sucessivos

Amostras de solo coletadas após o primeiro e o segundo cultivo indicaram que o TK-Pó foi a única fonte de K que conseguiu aumentar os teores de Si no solo em relação a testemunha (tabela 18). Isso ocorre por causa da presença do Si na composição mineral do TK-Pó e também devido a rápida reação com o solo. Este mesmo resultado não foi observado na fonte TK-GR indicando que a forma granulada disponibiliza uma quantidade menor de Si por apresentar menor reação com o solo. As fontes verdete, feldspato, fonolito e sienito também não foram diferentes do tratamento testemunha (Tabela 18). Isto demonstra a baixa reatividade destes materiais de rocha em liberar elementos da sua estrutura para o solo.

Apesar de rochas silicatadas apresentarem grandes quantidade de elementos essenciais, as mesmas têm que passar por um processo industrial que transformam os seus minerais e aumentam a solubilidade dessas fontes (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004).

Tabela 18. Teor silício encontrados em amostras de solo arenoso (RQo) após 30 dias da semeadura de milho em dois cultivos.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo				
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias
	100		200			100		200		
-----mg dm ⁻³ -----										
Testemunha	3,1					2,9				
KCl	2,8 ^{ns}	bA	2,6 ^{ns}	bA	2,7	b	3,2 ^{ns}	3,0 ^{ns}	3,2	b
TK-Pó	4,0 [*]	bB	5,7 [*]	bA	4,8	a	4,8 [*]	5,1 [*]	4,9	a
TK-GR	2,5 ^{ns}	abA	3,0 ^{ns}	cdA	2,7	b	2,9 ^{ns}	3,1 ^{ns}	3,0	b
Verdete	3,6 ^{ns}	abA	41 ^{ns}	bA	3,1	b	3,0 ^{ns}	2,9 ^{ns}	2,9	b
Feldspato	3,0 ^{ns}	abA	3,0 ^{ns}	bA	3,0	b	2,8 ^{ns}	2,9 ^{ns}	2,8	b
Fonolito	3,0 ^{ns}	abA	3,0 ^{ns}	bA	3,0	b	3,3 ^{ns}	2,8 ^{ns}	3,0	b
Sienito	2,6 ^{ns}	ab	2,9 ^{ns}	bA	2,7	b	3,2 ^{ns}	3,2 ^{ns}	3,2	b
MÉDIA	3,0	A	3,3	A			3,3 A	3,3 A		
1º Cultivo: CV% = 13		DMS Dunnet = 3,1;			DMS Dose = 0,3;		DMS Fonte= 0,8			
2º Cultivo: CV% = 10		DMS Dunnet = 0,9;			DMS Dose = 0,2;		DMS fonte = 0,6			

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

3.1.6 Concentração e quantidade de cálcio acumulado na parte aérea do milho

As fontes TK-Pó e TK-GR apresentaram os maiores teores de Ca na parte aérea do milho nos dois cultivos sucessivos (Tabela 19). As fontes feldspato, fonolito e sienito foram semelhantes quanto ao teor de Ca no primeiro cultivo e não diferiram da testemunha no segundo cultivo (tabela 19). As fontes KCl e verdete , tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, não foram diferentes do tratamento testemunha. Absorção de cálcio pela planta de milho foi maior no segundo cultivo comparado ao primeiro cultivo (tabela 19).

O KCl no segundo cultivo, apresentou valores menores que a testemunha onde o excesso de potássio inibiu a absorção de Ca pelo milho. Concordando com Duarte (2012), que encontrou resultado semelhante ao trabalhar com termopotássio farelado fino, KCl e verdete aplicados em solo RQo em dois cultivos sucessivos de milho, este autor verificou que os teores de cálcio pela planta de milho utilizando a fonte KCl, foi inferior a testemunha nos dois cultivos, indicando um desequilíbrio de íons , onde o potássio inibiu a absorção de cálcio.

TABELA 19. Concentração de cálcio na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo			Segundo Cultivo			Medias			
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)						
	100	200		100	200					
	-----g kg ⁻¹ -----									
Testemunha		3,8				8,5				
KCl	3,9 ^{ns}	4,2 ^{ns}	4,0	c	5,5 ^{ns}	dA	6,2 ^{ns}	bA	5,8	c
TK-Pó	7,2 [*]	7,3 [*]	7,2	a	11,0 [*]	aA	11,40 [*]	cB	11,2	a
TK-GR	4,8 ^{ns}	5,7 [*]	5,2	b	9,5 ^{ns}	abA	9,9 [*]	aA	9,7	ab
Verdete	4,2 ^{ns}	4,7 ^{ns}	4,4	c	8,3 ^{ns}	bcA	8,5 ^{ns}	abA	8,4	b
Feldspato	5,2 [*]	5,9 [*]	5,5	b	6,5 ^{ns}	cdB	9,8 ^{ns}	aA	8,2	b
Fonolito	5,5 [*]	5,5 [*]	5,5	b	8,2 ^{ns}	abcA	8,9 ^{ns}	aA	8,5	b
Sienito	5,2 [*]	5,4 [*]	5,2	b	7,7 ^{ns}	bcdA	9,3 ^{ns}	aA	8,5	b
MÉDIA	5,2 A	5,4 A			8,1	B	9,1	A		
1º Cultivo: CV% = 11		DMS Dunnet = 1,1;		DMS Dose = 0,4;		DMS Fonte= 1,1				
2º Cultivo: CV% = 12		DMS Dunnet = 2,3;		DMS Dose = 0,6;		DMS fonte = 1,7				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

TABELA 20. Cálcio acumulado na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo						
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)			Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)			Medias				
	100	200			100	200						
	-----mg vaso ⁻¹ -----											
Testemunha		8					5					
KCl	29 [*]	bB	40 [*]	abA	34	b	12 ^{ns}	bB	22 [*]	aA	17	b
TK-Pó	56 [*]	aA	56 [*]	aB	56	a	37 [*]	bB	88 [*]	cB	62	a
TK-GR	18 ^{ns}	cdB	28 [*]	cA	23	c	4 ^{ns}	bA	9 ^{ns}	aA	7	c
Verdete	7 ^{ns}	dA	13 ^{ns}	deA	10	de	7 ^{ns}	bA	3 ^{ns}	dA	5	c
Feldspato	11 [*]	deB	20 [*]	cdA	15	d	3 ^{ns}	bB	5 ^{ns}	cdA	4	c
Fonolito	23 [*]	bcA	27 ^{ns}	cdA	25	c	6 ^{ns}	bB	14 ^{ns}	abcA	10	bc
Sienito	8 ^{ns}	eA	9 ^{ns}	eA	9	e	5 ^{ns}	bA	6 ^{ns}	cdaA	6	c
MÉDIA	22	B	27	A			10,8	A	20,9	A		
1º Cultivo: CV% = 16		DMS Dunnet = 8,2;			DMS Dose = 2,1;			DMS Fonte= 6,0				
2º Cultivo: CV% = 28,5		DMS Dunnet = 10,6;			DMS Dose = 2,7;			DMS fonte = 7,8				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

Em relação ao cálcio acumulado na parte aérea do milho, verifica se TK-Pó foi superior aos demais tratamentos na média das doses em ambos os cultivos (Tabela 19) e

também na somatória dos dois cultivos (Figuras 14 e 15). Isto se justifica uma vez que a fonte TK-Pó apresenta cálcio em sua composição.

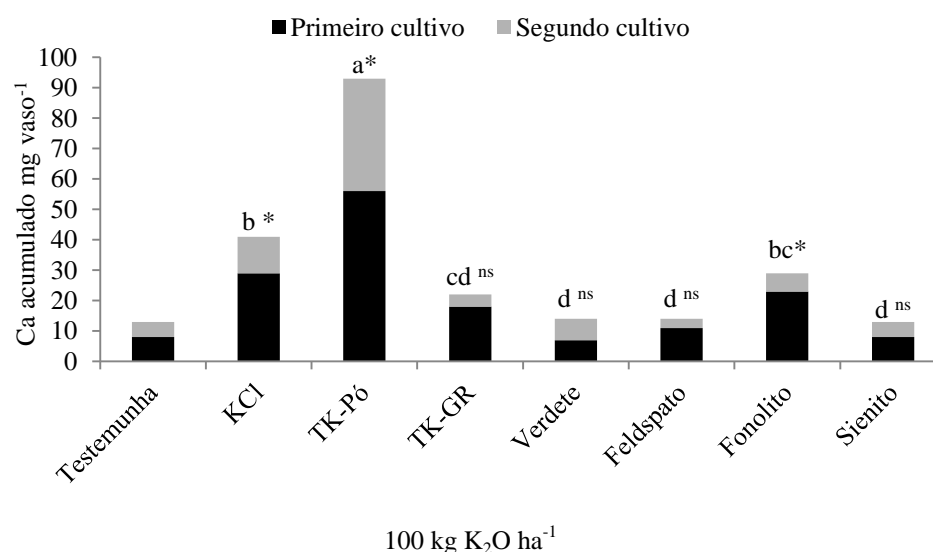


FIGURA 14. Cálcio acumulado em dois cultivos em amostras de um RQo na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ns :não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

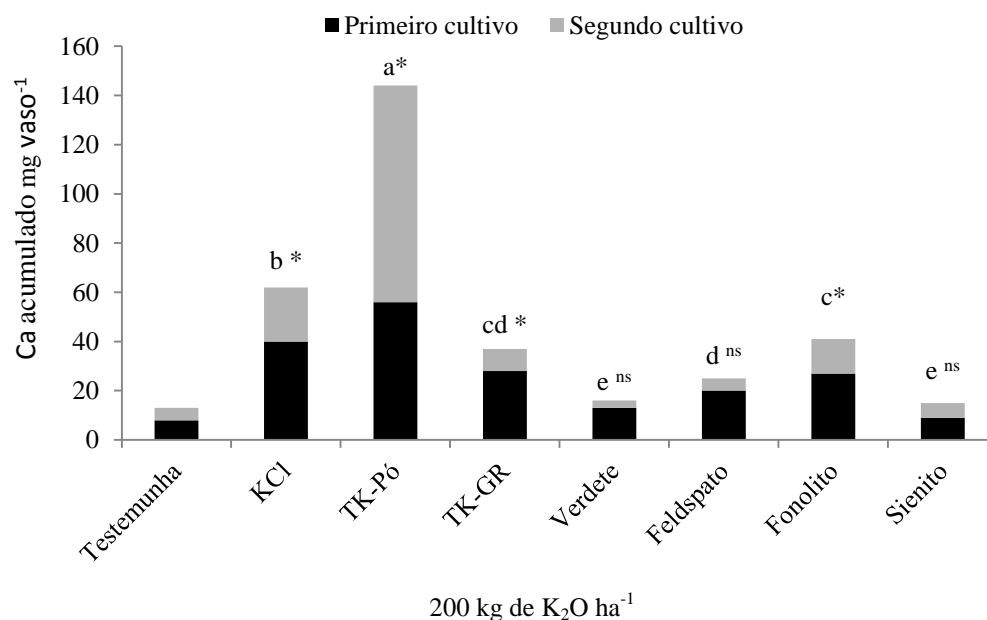


FIGURA 15. Cálcio acumulado em dois cultivos em amostras de um RQo na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ns :não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

3.2.8 Concentração e quantidade de Mg acumulado na parte aérea do milho

Independente da dose utilizada no primeiro cultivo o KCl foi o tratamento que apresentou as menores concentrações de Mg na parte aérea do milho, sendo o TK-Pó, a fonte que apresentou maiores concentrações de Mg na parte aérea do milho, seguido pelo fonolito (tabela 21) . No segundo cultivo a maior dose dos tratamentos forneceu as maiores concentrações de Mg na parte aérea do milho, onde o verdete seguido pelo TK-Pó foram os melhores tratamentos.

Nos dois cultivos os teores de magnésio na parte aérea do milho que recebeu as doses de KCl , foram inferiores ao tratamento testemunha demonstrando que ocorreu desequilíbrio de cátions, pois a maior absorção de K interferiu na absorção de magnésio novamente (tabela 21).

TABELA 21. Concentração de magnésio na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo			Segundo Cultivo				
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias		
	100	200		100	200			
-----g kg-----								
Testemunha		7,3			8,2			
KCl	5,4 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,3 d	5,3 ^{ns}	5,7 ^{ns}	5,5	b	
TK-Pó	11,6 ^{ns}	11,1 ^{ns}	11,4 a	9,1 ^{ns}	9,2 ^{ns}	9,2	ab	
TK-GR	8,1 ^{ns}	9,0 ^{ns}	8,5 bc	4,0 ^{ns}	7,2 ^{ns}	5,9	b	
Verdete	9,7 ^{ns}	10,4 ^{ns}	10,1 ab	8,4 ^{ns}	13,3 ^{ns}	10,9	a	
Feldspato	9,1 ^{ns}	9,5 ^{ns}	9,3 abc	6,2 ^{ns}	8,1 ^{ns}	7,0a	b	
Fonolito	11,4 ^{ns}	11,4 ^{ns}	11,3 a	8,3 ^{ns}	7,9 ^{ns}	8,1	ab	
Sienito	6,4 ^{ns}	7,9 ^{ns}	6,2 abc	6,2 ^{ns}	8,1 ^{ns}	7,1	ab	
MÉDIA	8,8 A	9,2 A		6,8B	8,5A			
1º Cultivo: CV% = 19		DMS Dunnet = 1,5;		DMS Dose = 0,8;		DMS Fonte= 2,3		
2º Cultivo: CV% = 28		DMS Dunnet = 5,3;		DMS Dose = 1,3;		DMS fonte = 3,9		

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

No primeiro cultivo, independente da dose, o TK-Pó foi a fonte que proporcionou a maior concentração de Mg acumulado , seguido pelo KCl e fonolito; o TK-GR foi diferente ao tratamento testemunha apenas na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹, as demais fontes não (Tabela 20). No segundo cultivo, independente da dose o melhor

tratamento foi o TK-Pó (Tabela 20).

TABELA 22. Magnésio acumulado na parte aérea do milho aos 34 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo						
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias		
	100		200			100		200				
	-----mg vaso ⁻¹ -----											
Testemunha	9					5						
KCl	39 [*]	bA	40 [*]	abA	39	b	12 ^{ns}	bA	21 ^{ns}	bA	16	b
TK-Pó	66 [*]	aB	68 [*]	aA	66	a	35 [*]	aB	75 [*]	aA	55	a
TK-GR	23 ^{ns}	bcB	39 [*]	abA	31	bc	2 ^{ns}	aA	6 ^{ns}	aA	4	b
Verdete	7 ^{ns}	cA	20 ^{ns}	cdA	14	d	6 ^{ns}	ab	5 ^{ns}	aB	6	a
Feldspato	12 ^{ns}	cB	26 ^{ns}	bcdA	19	cd	3 ^{ns}	aB	4 ^{ns}	aB	4	b
Fonolito	36 [*]	bA	37 [*]	bcA	36	b	5 ^{ns}	aB	11 ^{ns}	aB	9	b
Sienito	13 ^{ns}	cA	13 ^{ns}	dA	13	d	4 ^{ns}	aB	5 ^{ns}	aB	4	b
MÉDIA	29	A	32	A			10	B	18	A		
1º Cultivo: CV% = 19		DMS Dunnet = 18,5;			DMS Dose = 4,7;			DMS Fonte= 14				
2º Cultivo: CV% = 34		DMS Dunnet = 18,4;			DMS Dose = 4,7;			DMS fonte = 13				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

No somatório do Mg acumulado, a fonte TK-Pó apresentou os maiores valores em relação aos demais tratamentos. (Figuras 16 e 17). A calcinação do verdete com adição de carbonato de cálcio e magnésio para a produção do termopotássio, faz com que haja uma maior concentração de Mg neste fertilizante, assim há uma maior liberação para o solo (DUARTE, 2012).

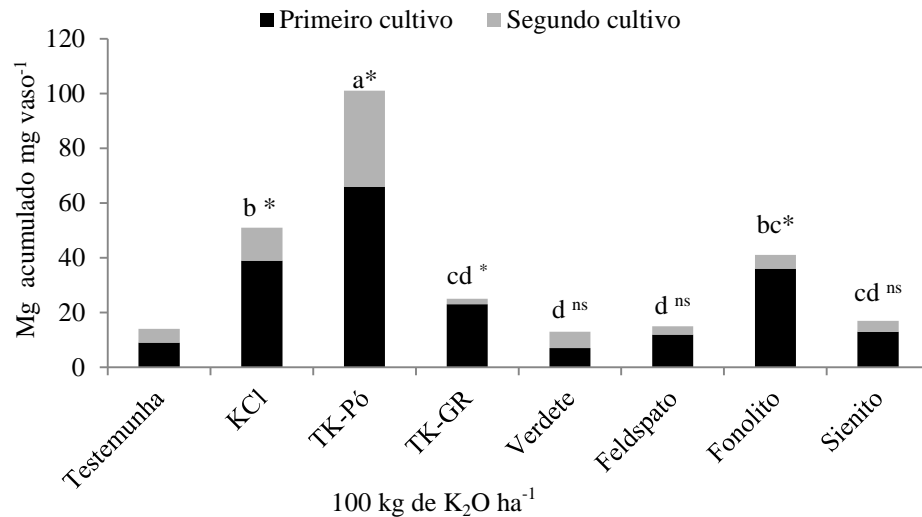


FIGURA 16. Magnésio acumulado em dois cultivos em amostras de um RQo na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

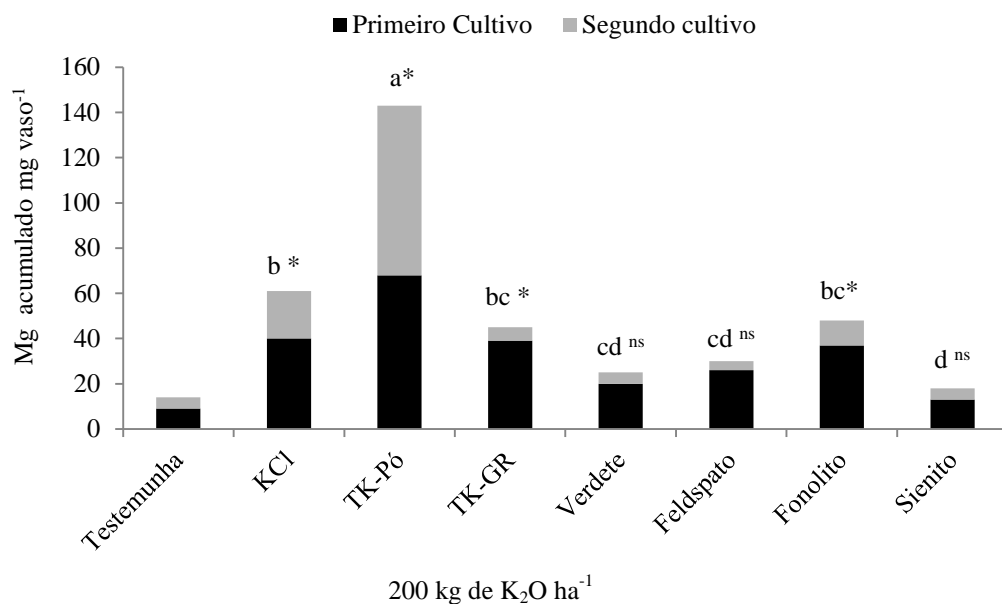


FIGURA 17. Magnésio acumulado em dois cultivos em amostras de um RQo na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

3.2 Latossolo Vermelho distrófico (LVd)

3.2.1 Produção de matéria seca da parte aérea

Em solo de textura argilosa (LVd) aplicação de KCl, promoveu a maior

produção de matéria seca no primeiro cultivo , nas doses de 100 e 200 kg de K₂O ha⁻¹, seguido pelas fontes TK-Pó, fonolito e TK-GR(Tabela 23). Concordando com os resultados encontrados por Duarte (2012), ao trabalhar com KCl , termopotássio farelado fino e verdete, nas doses de 200 e 400 kg K₂O ha⁻¹ em solo de textura argilosa (LVd) , a produção de massa seca do milho quando submetido a fonte KCl foi superior ao termopotássio no primeiro cultivo.

No segundo cultivo o TK-Pó foi superior a todos os tratamentos independente da dose, seguido pelo KCl As fontes TK-GR e fonolito foram semelhantes e superiores ao tratamento testemunha apenas na dose de 200 kg K₂O ha⁻¹. As fontes verdete, feldspato e sienito não foram diferentes do tratamento testemunha nos dois cultivos (tabela 23). O TK-GR se comportou como rocha aplicada in natura,se comparado ao fonolito, em função da sua aplicação na forma granulada.

TABELA 23. Produção de matéria seca da parte aérea do milho após 30 dias da semeadura em dois cultivos sucessivos, cultivado em um solo argiloso (LVd) e aplicando diferentes fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo				Segundo cultivo				Medias	
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)						
	100	200		100	200					
-----g vaso ⁻¹ -----										
Testemunha		2,7				0,7				
KCl	13,5 [*]	14,4 [*]	13,9	a	3,9 [*]	aB	7,3 [*]	bA	5,6	b
TK-Pó	11,8 [*]	13,4 [*]	12,6	b	4,6 [*]	aB	14,2 [*]	aA	8,9	a
TK-GR	4,0 [*]	4,6 [*]	4,3	d	1,5 ^{ns}	bB	3,8 [*]	cA	2,6	e
Verdete	3,0 ^{ns}	3,4 ^{ns}	3,2	e	0,4 ^{ns}	cA	0,6 ^{ns}	eA	0,5	e
Feldspato	3,7 ^{ns}	4,5 ^{ns}	4,1	d	0,7 ^{ns}	bcA	0,7 ^{ns}	eA	0,7	e
Fonolito	6,3 [*]	6,7 [*]	6,5	c	1,2 ^{ns}	bcA	2,4 [*]	dA	1,8	d
Sienito	4,0 ^{ns}	3,6 ^{ns}	3,7	de	0,6 ^{ns}	cA	0,6 ^{ns}	eA	0,6	e
MÉDIA	6,7 B	7,1 A			1,8	B	3,9	A		
1º Cultivo: CV% = 7; DMS Dunnet = 1,2; DMS Dose = 0,2; DMS Fonte= 0,9										
2º Cultivo: CV% =51,1; DMS Dunnet = 3,4; DMS dose = 0,88; DMS fonte = 0,6										

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Considerando os dois cultivos sucessivos, a produção total de matéria seca do milho foi semelhante entre o TK-Pó e o KCl na dose de 100 kg de K₂O ha⁻¹ (Figura 18) .Já na dose de 200 kg ha⁻¹ o TK-Pó foi superior(Figura 19). As fontes TK-GR e fonolito independente da dose apresentaram somatório de massa seca nos dois cultivos resultados semelhantes (Figura 18 e 19).

O verdeite, feldspato potássio e sienito não diferiram da testemunha nos dois cultivos, demonstrando sua baixa eficiência em aumentar a matéria seca da parte aérea do milho (Figuras 18 e 19).

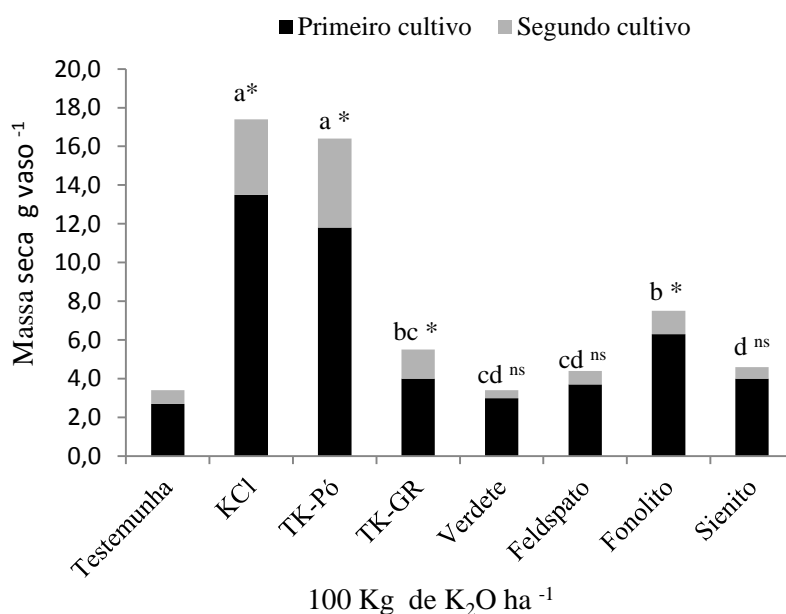


FIGURA 18. Produção de matéria seca acumulada nos dois cultivos na dose de 100 kg de K₂O ha⁻¹ no LVd. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

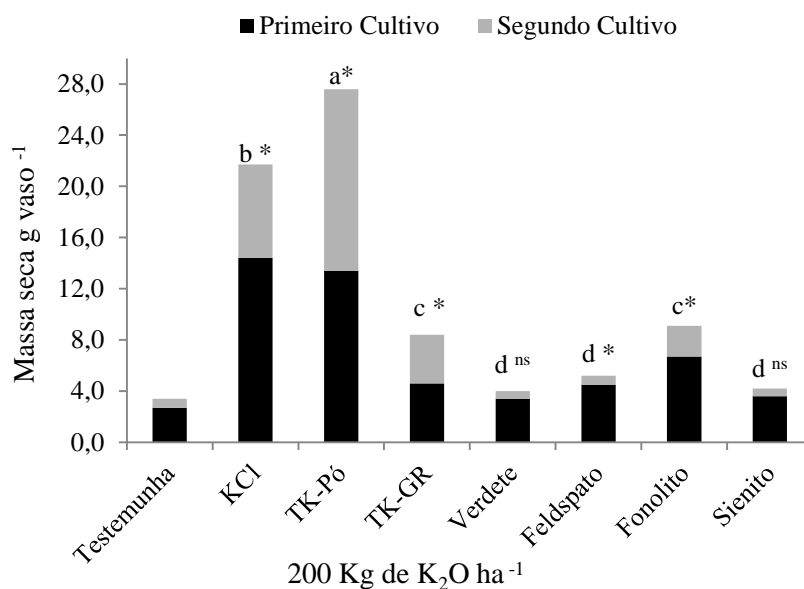


FIGURA 19. Produção de matéria seca acumulada nos dois cultivos na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹ no LVd. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

3.2.2 Concentração de potássio na parte aérea do milho em solo de textura argilosa (LVd).

No primeiro cultivo as fontes KCl e TK-Pó , respectivamente foram capazes de elevar as concentrações de potássio no tecido vegetal do milho nas doses de 100 e 200 kg de K_2O ha⁻¹ (tabela 24) . A maior solubilidade do KCl em relação as outras fontes pode explicar os maiores concentração de potássio encontrados no tecido vegetal do milho. As fontes TK-GR, verdete, feldspato, fonolito e sienito não foram capazes de aumentar a concentração de potássio no tecido vegetal do milho, quando comparados ao tratamento testemunha (Tabela 24).

Concordando com Mafra et. al. 2012, que realizou estudo em casa de vegetação, aplicando rocha moída in natura, rocha tratada termicamente e rocha misturada a turfeira para fornecimento de potássio a cultura da ervilhaca em dois tipos solo. Estes autores verificaram que aplicação de pó de rocha na forma natural teve menor dissolução de potássio em comparação ao material que sofreu tratamento térmico, resultando em maior liberação do elemento para a solução.

No segundo cultivo apenas as fontes fonolito e KCl elevaram a concentração de potássio na parte aérea do milho na dose 200 kg de K_2O ha⁻¹ em relação a testemunha(Tabela 24). Resultado semelhante foi encontrado por Duarte, (2012) que trabalhando com milho após dois cultivos sucessivos, não encontrou diferença nas concentrações de potássio na parte aérea do milho ao utilizar KCl, termopotássio farelado fino e verdete. O autor afirma que isso ocorreu pelo efeito da diluição, onde o aumento da matéria seca, numericamente diminui a concentração do potássio representada em g kg⁻¹.

TABELA 24. Concentração de potássio encontrados na parte aérea do tecido vegetal de milho em dois cultivos sucessivos, após 30 dias da semeadura cultivado em um solo argiloso (LVd) com aplicação de diferentes fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo				
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias
	100		200			100		200		
	-----mg vaso ⁻¹ -----									
Testemunha			13,5					10,2		
KCl	18,6 [*]	aB	21,3 [*]	aA	20	a	11,7 ^{ns}	13,6 [*]	12,7	ab
TK-Pó	14,7 [*]	bB	18,3 [*]	bA	17	b	10,3 ^{ns}	11,0 ^{ns}	10,6	b
TK-GR	13,1 ^{ns}	cA	13,2 ^{ns}	cA	13	cd	9,9 ^{ns}	11,3 ^{ns}	10,6	b
Verdete	12,1 ^{ns}	cdA	12,2 ^{ns}	cdA	12	de	10,4 ^{ns}	12,6 ^{ns}	11,6	ab
Feldspato	12,1 ^{ns}	cdA	12,5 ^{ns}	cdA	12	e	10,0 ^{ns}	11,7 ^{ns}	10,8	ab
Fonolito	11,3 ^{ns}	cA	12,5 ^{ns}	cA	12	e	11,6 ^{ns}	14,2 [*]	12,9	a
Sienito	12,9 ^{ns}	cA	13,4 ^{ns}	cA	13	d	10,2 ^{ns}	11,4 ^{ns}	10,8	b
MÉDIA	13,8	B	15,8	A			10,6B	12,3A		
1º Cultivo: CV%= 3,6;	DMS Dunnet = 1,3;				DMS Dose = 0,3;			DMS Fonte=0,98;		
2º Cultivo: CV%= 9,9;	DMS Dunnet = 2,8;				DMS Dose = 0,7 ;			DMS fonte =2,0;		

1º Cultivo: CV%= 3,6; DMS Dunnet = 1,3; DMS Dose = 0,3; DMS Fonte=0,98;
 2º Cultivo: CV%= 9,9; DMS Dunnet = 2,8; DMS Dose = 0,7 ; DMS fonte =2,0;
 Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

3.2.3 Potássio acumulado na parte aérea do milho

Independente da dose utilizada, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, as maiores concentrações de potássio acumulado foram encontradas ao utilizar a fonte KCl , seguida respectivamente pela fonte TK-Pó (Tabela 25). A fonte fonolito no primeiro cultivo foi diferente do tratamento testemunha nas doses 100 e 200 kg de K₂O ha⁻¹ e no segundo cultivo apenas na maior dose (Tabela 25). O tratamento TK-GR aumentou as concentrações de potássio acumulado na parte aérea do milho nos dois cultivos ,apenas na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹ (Tabela 25). As fontes verdete, feldspato e sienito nos dois cultivos foram semelhantes ao tratamento testemunha (Tabela 25)

Observa-se na tabela 25 que a fonte TK-Pó foi superior as rochas aplicadas in natura (fonolito, verdete, feldspato e sienito) e também ao TK-GR. Este resultado é conforme encontrado por Duarte (2012), em que aplicação de termopotássio farelado fino promoveu maior valor de potássio acumulado em plantas de milho, comparado ao verdete, rocha aplicada in natura, por dois cultivos sucessivos. O tratamento térmico e químico para obtenção do termopotássio, a partir do verdete, possibilitou maior solubilidade a fonte, bem como liberação do potássio por mais de um cultivo sucessivo. Materiais calcinados tem a estrutura interna dos minerais de potássio modificada,

tornando este elemento mais disponível para ser liberado a solução do solo (FRAYHA, 1950; HOROWITZ et al.,1978).

TABELA 25. Valores de potássio acumulado das diferentes fontes de potássio aplicadas em um solo argiloso (LVd) cultivado com milho em dois cultivos, sucessivos 30 dias após a semeadura.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo						Segundo Cultivo					
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias		
	100		200			100		200				
-----mg vaso ⁻¹ -----												
Testemunha	36								7			
KCl	250 [*]	aB	303 [*]	aA	277	a	46 [*]	aB	99 [*]	bA	73	b
TK-Pó	181 [*]	bB	233 [*]	bA	207	b	51 ^{n*}	aB	146 [*]	aA	99	a
TK-GR	53 ^{ns}	cdA	60 [*]	cdA	56	d	14 ^{ns}	bB	43 [*]	cA	29	c
Verdete	36 ^{ns}	dA	41 ^{ns}	dA	38	e	5 ^{ns}	bA	6 ^{ns}	dA	6	d
Feldspato	44 ^{ns}	dA	51 ^{ns}	dA	48	de	8 ^{ns}	bA	7 ^{ns}	dA	7	d
Fonolito	71 [*]	cA	83 [*]	cA	78	c	13 ^{ns}	bB	33 [*]	cA	23	c
Sienito	48 ^{ns}	cdA	49 ^{ns}	dA	49	de	6,1 ^{ns}	bA	6,8 ^{ns}	dA	6	d
MÉDIA	102	B	134	A			0,01	B	0,04	A		
1º Cultivo: CV% = 9		DMS Dunnet = 24;				DMS Dose = 6;		DMS Fonte= 18				
2º Cultivo: CV% = 25		DMS Dunnet = 20;				DMS Dose = 5;		DMS fonte = 15				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

Em relação à somatória do potássio acumulado nos dois cultivos consecutivos, verificou que o potássio acumulado na parte aérea do milho, quando utilizou KCl independente da dose foi superior as demais fontes testadas, seguido pelo TK-Pó e o fonolito (Figuras 20 e 21).O TK-Pó diferiu da testemunha apenas na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹. O verdete, feldspato e sienito não diferiram da testemunha e, portanto não interferiram no acúmulo de potássio pela parte aérea do milho (Figuras 20 e 21).

Concordando com Duarte (2012) que não encontrou diferença entre a testemunha na somatória do potássio acumulado ao fornecer verdete como fonte de potássio a cultura do milho em dois cultivos em um solo LVd.

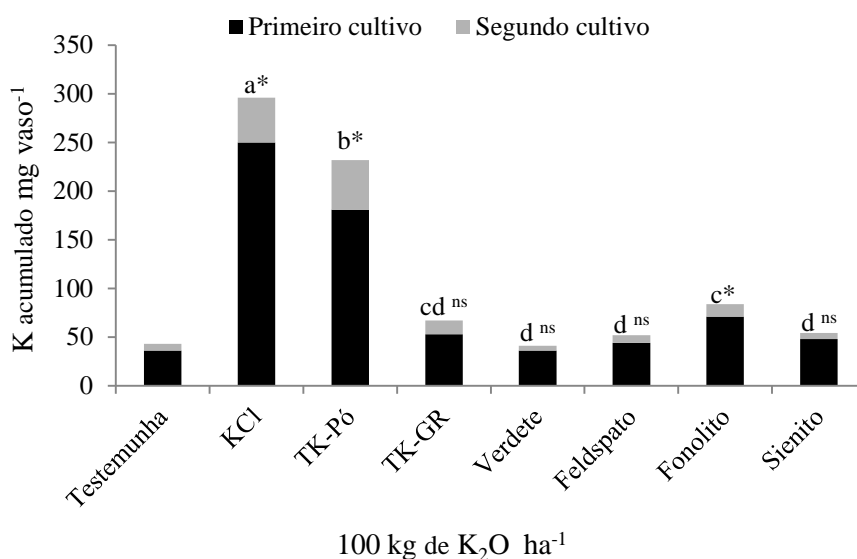


FIGURA 20. Potássio acumulado em dois cultivos em amostras de um LVd na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

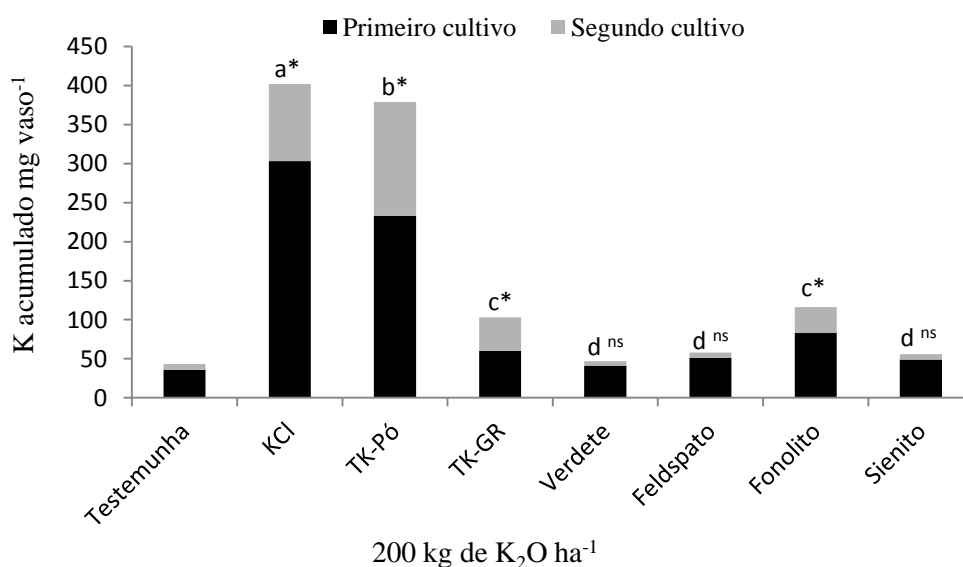


FIGURA 21. Potássio acumulado em dois cultivos em amostras de um LVd na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

3.2.4 Teor de potássio extraído no solo

Em solo de textura argilosa (LVd) nas duas doses estudadas, no primeiro cultivo o TK-Pó foi superior aos demais tratamentos utilizando o extrator Mehlich 1; porém no segundo cultivo, somente o TK-GR, na dose de 200 Kg de K₂O ha⁻¹ apresentou-se diferente do tratamento testemunha (tabela 26). Isto acontece pois, o termopotássio é um fertilizante de liberação lenta e gradativa, apresentando efeito residual pois possui baixa solubilidade em água, liberando o potássio de sua estrutura de forma gradual (DUARTE,2012).

Quando se utilizou o extrator resina para determinar os valores de potássio disponível, o TK-Pó foi igual ao KCl e superior às demais fontes apenas na dose de 200 Kg de K₂O ha⁻¹ no primeiro cultivo (Tabela 27). No segundo cultivo, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 27).

Em ambos os extratores os baixos valores de potássio encontrados no solo, pode estar relacionado ao consumo pelas plantas no primeiro cultivo, no caso das fontes mais solúveis como o KCl e o TK-Pó que apresentam-se mais reativo que as rochas aplicadas in natura e o TK-GR.

TABELA 26. Potássio extraído pelo Método da Mehlich-1 em amostras de solo argiloso (LVd), após 30 dias da semeadura de milho em dois cultivos.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo				Segundo cultivo			
	Dose K ₂ O(kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias		
	100	200		100	200			
	-----Cmol _c dm ⁻³ -----							
Testemunha		0,02				0,03		
KCl	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03	b	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04	b
TK-Pó	0,05 [*]	0,07 [*]	0,06	a	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,05	a
TK-GR	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03	b	0,08 ^{ns}	0,12 [*]	0,10	a
Verdete	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,04	b
Feldspato	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b
Fonolito	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	b
Sienito	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03	b
MÉDIA	0,026 B	0,033 A			0,03 B	0,05 A		
1º Cultivo: CV% = 31,4; DMS Dunnet = 0,02			DMS Dose = 0,01; DMS Fonte= 0,02					
2º Cultivo: CV% = 31,0; DMS Dunnet = 0,06			DMS dose = 0,02 DMS fonte = 0,05					

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação à testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

TABELA 27. Potássio extraído pelo método resina em amostras de solo argiloso (LVd), após 30 dias da semeadura de milho em dois cultivos.

Fontes de potássio	Primeiro cultivo				Segundo cultivo			
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias		Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	
	100	200			100	200		
	----- Cmol _c dm ⁻³ -----							
Testemunha		0,01				0,02		
KCl	0,02 ^{ns}	0,03 [*]	0,02	ab	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	a
TK-Pó	0,02 ^{ns}	0,03 [*]	0,02	a	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	ab
TK-GR	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	bc	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	ab
Verdete	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	c	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	ab
Feldspato	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01	bc	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02	ab
Fonolito	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	c	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	b
Sienito	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01	bc	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	ab
MÉDIA	0,02 A	0,02A			0,019 A	0,021 A		
1º Cultivo: CV%= 20,1; DMS Dunnet = 0,01 DMS Dose = 0,002 DMS Fonte= 0,06								
2º Cultivo: CV%= 20,6; DMS Dunnet = 0,01 DMS dose = 0,002 DMS fonte = 0,01								

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

3.2.5 Teor de silício extraído no solo

Em ambos os cultivos as fontes TK-Pó e TK-GR, respectivamente, apresentaram as maiores concentrações de silício no solo (Tabela 28). Na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹ o fonolito foi capaz de elevar os teores de silício no solo nos dois cultivos (Tabela 28).

TABELA 28. Teores de Si no solo em amostras de solo argiloso (LVd), após 30 dias da semeadura de milho em dois cultivos.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo						
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias		
	100		200			100		200				
-----mg dm ³ -----												
Testemunha	3,5						3,6					
KCl	2,7 ^{ns}	bcA	3,1 ^{ns}	bA	2,9	c	3,1 ^{ns}	cA	3,1 ^{ns}	cA	3,2	b
TK-Pó	6,4 [*]	aB	8,0 [*]	bA	7,2	a	6,0 [*]	aB	7,6 [*]	aA	4,9	a
TK-GR	3,8 [*]	bA	4,4 [*]	cdA	4,1	b	4,7 [*]	bA	4,9 [*]	bA	3,0	b
Verdete	2,9 ^{ns}	bcA	3,2 ^{ns}	bA	3,1	b	3,1 ^{ns}	cA	3,3 ^{ns}	cA	2,9	b
Feldspato	2,4 ^{ns}	cA	2,4 ^{ns}	bA	2,4	b	3,1 ^{ns}	cA	3,3 ^{ns}	cA	2,8	b
Fonolito	2,8 ^{ns}	bcB	3,7 ^{*s}	bA	3,2	bc	4,3 ^{ns}	bA	4,4 [*]	bA	3,0	b
Sienito	2,9 ^{ns}	bcA	2,7 ^{ns}	bA	2,8	c	3,3 ^{ns}	cA	3,4 ^{ns}	cA	3,2	b
MÉDIA	3,0	A	3,3	A			3,3	A	3,3	A		
1º Cultivo: CV% = 13		DMS Dunnet = 1,2;				DMS Dose = 0,3;				DMS Fonte= 0,9		
2º Cultivo: CV% = 7		DMS Dunnet = 0,7;				DMS Dose = 0,2;				DMS fonte = 0,5		

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

Apesar das rochas, verdete, feldspato e sienito apresentarem teores consideráveis de silício total (Tabela 3), estas fontes, não foram eficientes em liberar o silício e não diferiram do tratamento testemunha nos dois cultivos (Tabela 28).

3.2.6 Concentração e quantidade de cálcio acumulado na parte aérea do milho

Independente da dose aplicada, no primeiro cultivo, a concentração de cálcio na parte aérea do milho foi maior quando aplicou o TK-Pó, seguido pelas fontes fonolito e TK-GR (Tabela 29). Nenhum outro tratamento foi diferente do tratamento testemunha no segundo cultivo (Tabela 29).

Independente da dose, os valores de cálcio acumulado foram maiores no primeiro cultivo pelo tratamento TK-Pó seguidos das fontes KCl e fonolito; o TK-GR foi diferente do tratamento testemunha apenas na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹ (Tabela 30). No segundo cultivo o TK-Pó foi o melhor tratamento nas duas doses, seguido pelo KCl (Tabela 30). As fontes TK-Pó e TK-GR foram superiores ao tratamento testemunha apenas na dose 200 kg ha⁻¹ (Tabela 30) o verdete, feldspato e sienito não foram diferentes do tratamento testemunha nos dois cultivos (Tabela 30).

TABELA 29. Concentração de cálcio na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo				Segundo Cultivo					
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias		Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	
	100	200			100	200				
	-----g kg ⁻¹ -----									
Testemunha		5,1					10,2			
KCl	5,2 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,2	c	9,9 ^{ns}	abcA	10,1 ^{ns}	aA	10,0	bc
TK-Pó	7,2 [*]	7,6 [*]	7,4	a	11,0 ^{ns}	abA	11,2 ^{ns}	aA	11,1	abc
TK-GR	6,1 ^{ns}	6,5 [*]	6,3	b	7,3 ^{ns}	cB	12,6 ^{ns}	aA	9,9	bc
Verdete	5,8 ^{ns}	5,8 ^{ns}	5,8	bc	10,9 ^{ns}	abA	11,5 ^{ns}	aA	11,2	ab
Feldspato	5,9 ^{ns}	6,1 ^{ns}	6,0	bc	11,0 ^{ns}	abA	11,1 ^{ns}	aA	11,2	abc
Fonolito	6,4 ^{ns}	6,7 [*]	6,5	ab	12,7 ^{ns}	aA	12,3 ^{ns}	aA	12,5	a
Sienito	5,4 ^{ns}	5,9 ^{ns}	5,6	bc	8,0 ^{ns}	bcA	9,6 ^{ns}	aA	8,8	c
MÉDIA	6,0 A	6,2 A			8,7	A	9,8	B		
1º Cultivo: CV% = 8,1		DMS Dunnet = 1,3;		DMS Dose = 0,3;		DMS Fonte= 0,9				
2º Cultivo: CV% = 11,6		DMS Dunnet = 3,0;		DMS Dose = 0,8;		DMS fonte = 2,2				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

TABELA 30. Cálcio acumulado na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo						Segundo Cultivo					
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias		Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)				Medias	
	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200
-----mg vaso ⁻¹ -----												
Testemunha			13						7			
KCl	70 [*]	bA	74 [*]	bA	72	b	38 [*]	bB	73 [*]	bA	56	b
TK-Pó	89 [*]	aA	97 [*]	aA	93	a	51 [*]	aB	146 [*]	aA	98	a
TK-GR	24 ^{ns}	cdA	29 ^{ns}	cdA	25	d	11 ^{ns}	cB	48 [*]	bA	29	c
Verdete	17 ^{ns}	dA	19 ^{ns}	dA	18	d	5 ^{ns}	cA	6 ^{ns}	eA	6	e
Feldspato	22 ^{ns}	dA	26 ^{ns}	dA	24	d	8 ^{ns}	cA	7 ^{ns}	dA	8	e
Fonolito	40 [*]	cA	45 [*]	cA	43	c	14 [*]	cB	29 [*]	dA	21	d
Sienito	21 ^{ns}	dA	22 ^{ns}	dA	22	d	5 ^{ns}	cA	5 ^{ns}	dA	5	e
MÉDIA	40	A	45	A			19	B	45	A		
1° Cultivo: CV% = 16 DMS Dunnet = 16,5; DMS Dose = 4,9; DMS Fonte = 14												
2° Cultivo: CV% = 14 DMS Dunnet = 9,6; DMS Dose = 2,5; DMS fonte = 7,1.												

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05 de significância; *: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância; ns :não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet 0,05 de significância.

Considerando o somatório de Ca acumulado nos dois cultivos, verifica-se nas figuras 22 e 23 que o TK-Pó independente da dose promoveu os maiores valores, seguidos KCl e fonolito. O TK-GR foi semelhante ao fonolito apenas na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹. Os tratamentos verdete, feldspato e sienito não foram diferentes da testemunha, demonstrando que não são capazes de incrementar valores de Ca na planta.

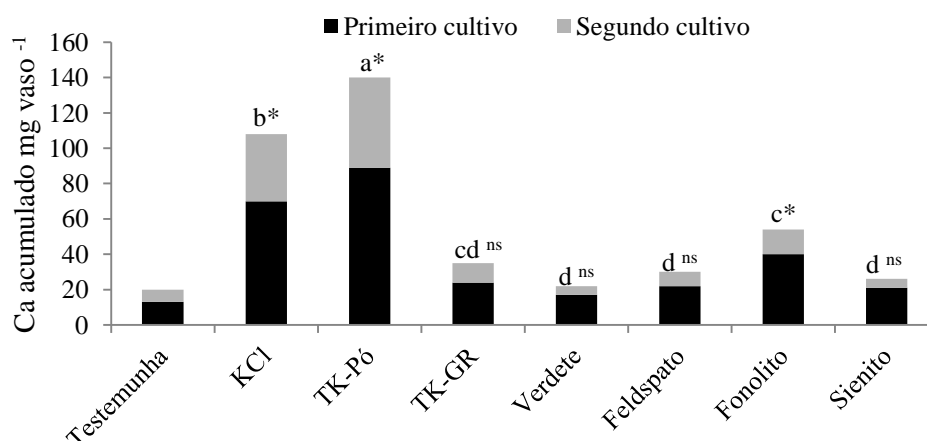


FIGURA 22. Cálcio acumulado em dois cultivos em amostras de um LVd na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas para cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ns :não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

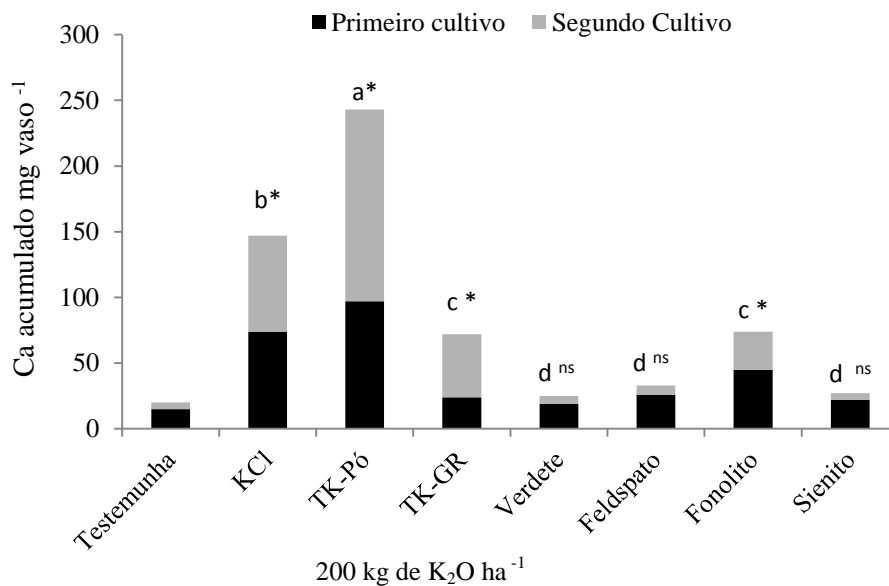


FIGURA 23. Cálcio acumulado em dois cultivos em amostras de um LVd na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas para cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

3.2.7 Concentração e quantidade de Mg acumulado na parte aérea do milho

Na tabela 29, verifica-se que no primeiro cultivo independente da dose o fonolito foi o melhor tratamento seguido TK-Pó (Tabela 31). O verdete e o feldspato foram diferentes da testemunha na dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹. O KCl apresentou os menores valores nas duas doses. Os TK-GR, e sienito não foram diferentes do tratamento testemunha (Tabela 31). No segundo cultivo nenhum tratamento foi diferente do tratamento testemunha (Tabela 31).

Na tabela 32, observa-se que independente da dose aplicada os maiores valores de Mg acumulado foi devido a aplicação de TK-Pó, seguido pelo KCl nos dois cultivos. (Tabela 32) O tratamento fonolito foi diferente do tratamento testemunha apenas no primeiro cultivo nas duas doses (Tabela 31) A fonte TK-GR foi superior a testemunha nas duas doses apenas do primeiro cultivo, e na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹.

As fontes verdete, feldspato e sienito, foram iguais ao tratamento testemunha, nos dois cultivos, indicando que estes tratamentos não interferiram no Mg acumulado pela planta de milho (Tabela 32).

TABELA 31. Concentração de magnésio na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio.

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo				Segundo Cultivo			
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias		Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	
	100	200			100	200		
	-----g kg ⁻¹ -----							
Testemunha		5,8				11,3		
KCl	5,2 ^{ns}	5,3 ^{ns}	5,3	d	10,0 ^{ns}	10,9 ^{ns}	10,8	bc
TK-Pó	10,0 [*]	11,1 [*]	10,5	ab	13,2 ^{ns}	12,8 ^{ns}	13,0	ab
TK-GR	8,5 ^{ns}	9,0 ^{ns}	8,8	bc	6,0 ^{ns}	12,9 ^{ns}	9,3	c
Verdete	6,8 ^{ns}	8,4 [*]	7,6	c	9,8 ^{ns}	12,0 ^{ns}	10,9	d
Feldspato	8,0 ^{ns}	9,3 [*]	7,4	c	10,4 ^{ns}	11,0 ^{ns}	10,7	bc
Fonolito	11,5 [*]	11,5 [*]	11,5	a	14,0 ^{ns}	14,4 ^{ns}	14,2	a
Sienito	7,3 ^{ns}	7,5 ^{ns}	8,8	ab	9,0 ^{ns}	9,3 ^{ns}	9,0	c
MÉDIA	8,2 B	8,9 A			23 B	49 A		
1º Cultivo: CV% = 12		DMS dunnet = 2,5;		DMS dose = 0,6;		DMS fonte= 1,8		
2º Cultivo: CV% = 35		DMS dunnet = 4,1;		DMS dose = 1,5;		DMS fonte = 3,0		

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância
^{ns}: não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

TABELA 32. Magnésio acumulado na parte aérea do milho aos 30 DAS em dois cultivos sucessivos em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com a aplicação de diferentes doses e fontes de potássio

Fontes de potássio	Primeiro Cultivo				Segundo Cultivo					
	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias	Dose K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Medias				
	100	200		100	200					
	-----mg vaso ⁻¹ -----									
Testemunha		15				10				
KCl	71 [*]	76 [*]	74	b	49 [*]	abA	76 [*]	bA	63	b
TK-Pó	123 [*]	140 [*]	132	a	64 [*]	aB	166 [*]	bA	55	a
TK-GR	34 [*]	41 [*]	38	c	9 ^{ns}	bA	49 [*]	bcA	29	c
Verdete	20 ^{ns}	28 ^{ns}	24	d	5 ^{ns}	abA	6 ^{ns}	dA	6	d
Feldspato	30 ^{ns}	42 [*]	36	cd	9 ^{ns}	cA	8 ^{ns}	dA	9	cd
Fonolito	73 [*]	78 [*]	75	b	18 ^{ns}	bcA	31 ^{ns}	cdA	25	cd
Sienito	24 ^{ns}	27 ^{ns}	26	cd	6 ^{ns}	cA	6 ^{ns}	dA	6	d
MÉDIA	54 B	62 A			23	B	49	A		
1º Cultivo: CV% = 13		DMS dunnet = 17;		DMS dose = 7,4;		DMS fonte= 13				
2º Cultivo: CV% = 35		DMS dunnet = 30;		DMS dose = 7,7;		DMS fonte = 22				

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância;*: Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância
^{ns}: não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

O TK-Pó e TK-GR liberou magnésio para o solo tanto no primeiro quanto no segundo cultivo do milho (Figuras 21 e 22) uma vez que estas fontes apresentam em sua composição química magnésio (Tabela 03).

A fonte KCl apresentou baixo acúmulo de magnésio na parte aérea provavelmente pelo efeito antagônico do potássio com este elemento; este acúmulo foi semelhante ao fonolito (figura 24). As fontes TK-GR, verdete, feldspato, sienito apresentaram acúmulo semelhante ao tratamento testemunha (figuras 24 e 25). Estes resultados estão de acordo com Duarte (2012) que verificou que a fonte verdete apresentou acúmulo semelhante ao tratamento testemunha mesmo este apresentando concentração de magnésio semelhante ao termopotássio farelado fino.

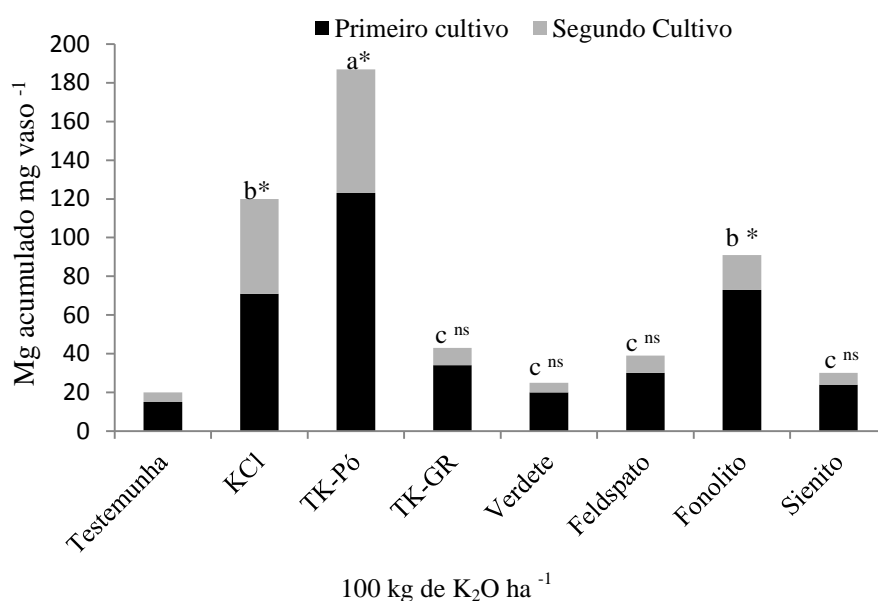


FIGURA 24. Magnésio acumulado em dois cultivos em amostras de um LVd na dose 100 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *: significativo e ^{ns} : não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

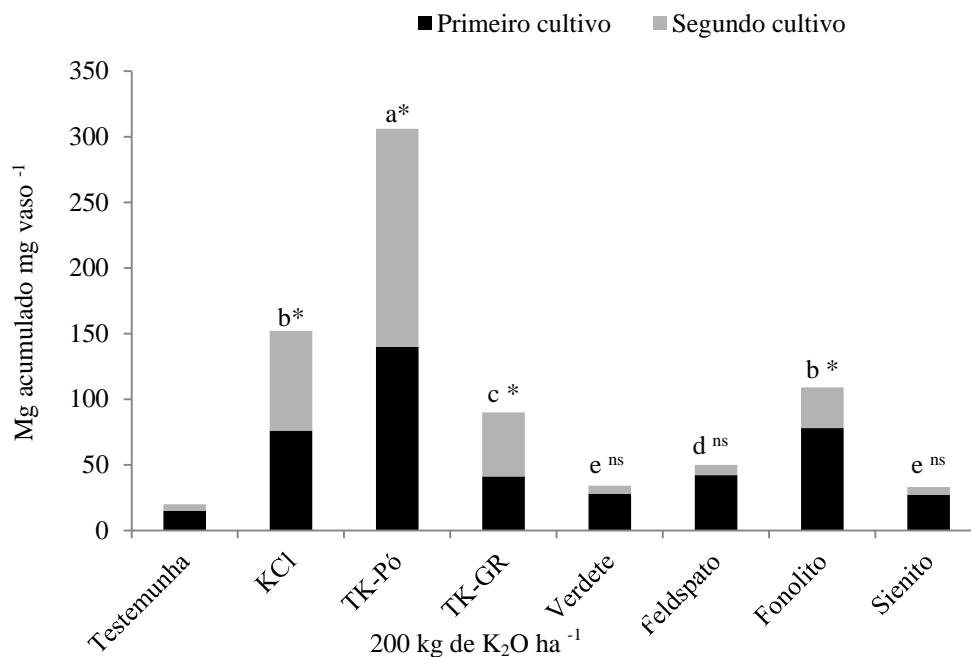


FIGURA 25. Magnésio acumulado em dois cultivos em amostras de um LVd na dose 200 kg de K₂O ha⁻¹. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.*: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância

3.3 Percentual de potássio recuperado das fontes

Pela figura 26, verifica-se que 52 e 43% do potássio fornecido pelo KCl e TK-Pó, foram acumulados na parte aérea do milho quando aplicadas no solo LVd. Isso significa que 52 e 43% do que foi aplicado foi absorvido pela parte aérea do milho, quando utilizou como fonte de potássio respectivamente o KCl e o TK-PÓ. Estes resultados estão de acordo com Duarte (2012), que ao utilizar KCl e termopotássio farelado fino, nas doses 200 e 400 kg de K₂O ha⁻¹, o autor encontrou respectivamente 61 e 46% de potássio recuperado pelas plantas de milho.

As fontes TK-GR, fonolito Verdete, Feldspato e sienito foram capazes de fornecer respectivamente, 7, 9, 2,2 e 0% do que foi aplicado, demonstrando que estes materiais não são eficientes em fornecer o potássio para a cultura do milho (Figura 26).

Em seu trabalho, Duarte (2012), ao utilizar a rocha verdete como fonte de potássio verificou que apenas 5% do que foi aplicado foi recuperado pela planta de milho em solo LVd.

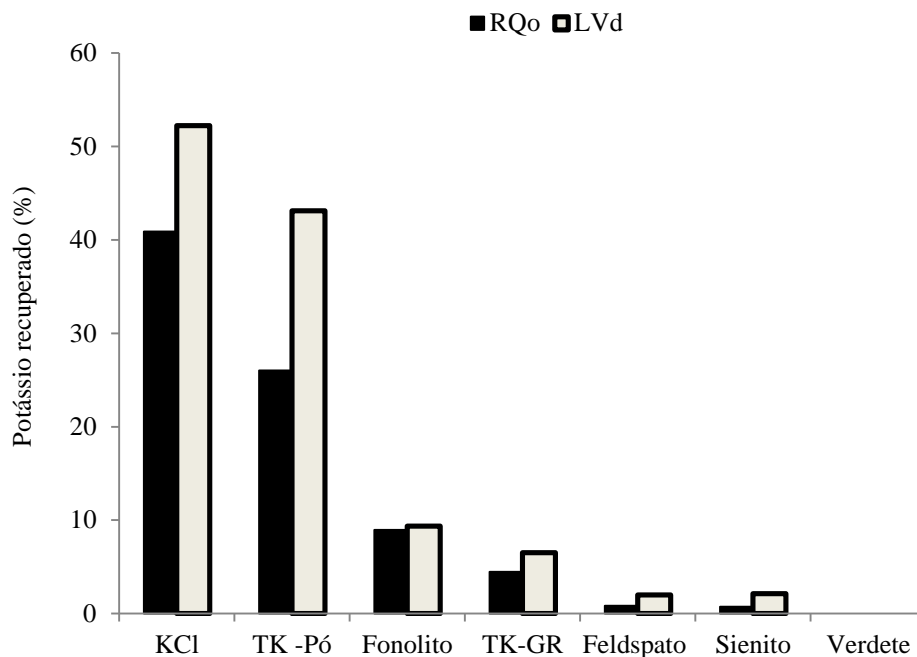


FIGURA 26. Percentual de potássio recuperado pelo milho das fontes, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea do milho sob dois cortes consecutivos cultivado em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd)

De acordo com a figura 26, a recuperação do potássio aplicado considerando a soma dos dois cultivos, foi maior no KCl e TK-Pó, sendo 41 e 26% respectivamente no solo RQo. O milho não foi capaz de recuperar uma quantidade maior que 50% do potássio quando as fontes foram aplicadas em solo RQo (Figura 26) .

O fonolito (9%) foi superior ao TK-GR (4%), demonstrando que a granulometria do material influencia na reação do fertilizante com o solo (Figura 26). As fontes feldspato (1%), sienito (1%) e verdete (0%) não se mostraram como materiais capazes de fornecer potássio para a cultura do milho no solo arenoso (RQo) (Figura 26).

Duarte, (2012) ao utilizar verdete em solo RQo, como fonte de potássio para milho , verificou que este foi capaz de fornecer apenas 0,5% do total aplicado.

3.4 Índice de Eficiência Agronômica

O TK-Pó apresentou índice de eficiência agronômica (IEA%) superior ao KCl em ambos solos, LVd e RQo, em 12 e 11 % respectivamente (Figura 27). Duarte ,(2012) encontrou valores de IEA% para o termopotássio farelado fino em solo LVd 28% superior ao KCl .

O fonolito apresentou valores de IEA 35 e 30% para os solos LVd e RQo, sendo superior ao encontrado pela fonte TK-GR, 25 e 22%, e ao feldspato que apresentou valores , entre 9% (LVd) e 2% (RQo) (Figura 27).

Os menores IEA foram observados pelas fontes sienito e verdete no solo LVd com 6 e 2% , e para o solo RQo 0% (Figura 27).

Segundo Duarte (2012), o verdete, rocha aplicada in natura como fonte de potássio para a cultura do milho, não poderia ser usada como fertilizante potássico; este autor encontrou IEA de 1,4 e 11% nos solos LVd e RQo.

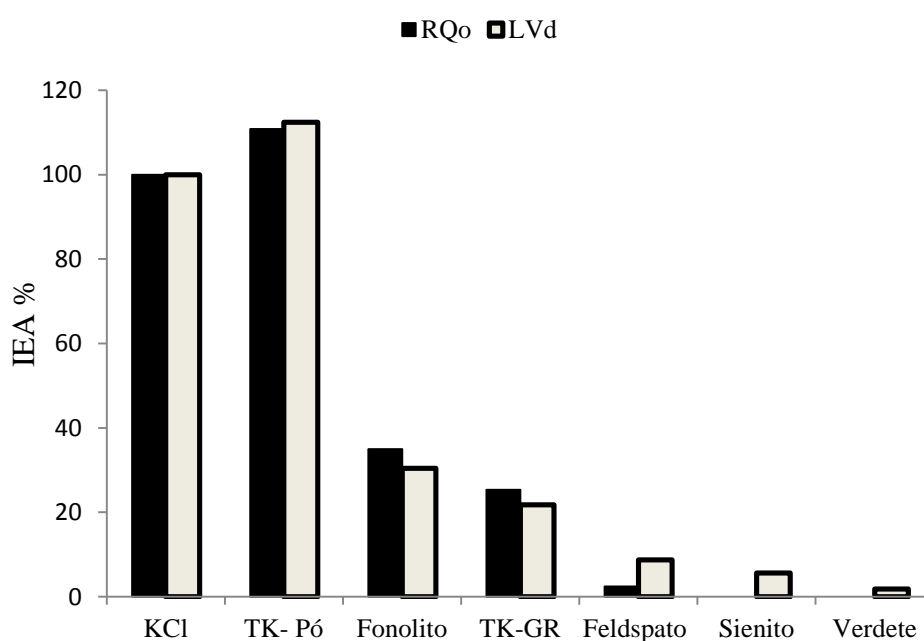


Figura 27. Índice de eficiência agrônômica (IEA %) das fontes de potássio aplicadas em dois tipos de solo (RQo e LVd), cultivados com milho em dois cultivos sucessivos colhido 30 dias após a semeadura.

4 CONCLUSÕES

O IEA - Índice de Eficiência Agronômica calculado com base na soma da produção de matéria seca do milho (1º + 2º corte), média dos 2 tipos de solos (LVd e RQo) e média das 2 doses de potássio (100 e 200 kg/ha de K₂O) mostrou que a fonte TK-Pó foi 11% superior ao KCl.

Em ambos os solos, o verdete, sienito, feldspato, fonolito e TK-GR apresentaram índice de eficiência agronômica inferior ao KCl e ao TK-Pó

Os materiais de rocha (verdete, sienito, feldspato, fonolito) não foram capazes de liberar K para o solo considerando apenas o período experimental de 75 dias.

REFERÊNCIAS

- AMBERGER, A. **Soil Fertility and Plant Nutrition in the Tropics and Subtropics** IFA and IPI, Paris France Horgen, Switzerland, 2006.96p.
- BORTOLON, L; GIANELLO, C; SCHLINDWEIN, J. A. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do sul do Brasil estimada por métodos multielementares. **Revi. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, pp. 1753-1761, 2010
- DUARTE, I.N. **Termopotássio**: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- EICHLER, V.; LOPES A.S. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado come sem calcário magnésiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solo de textura argilosa. **Ciência e Prática**, Lavras, v.7, n.2, p.136-146, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999, 212p
- EPA- Environmental Protection Agency, USA. **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052)**. U.S. EPA, 20p, December, 1996. Disponível em : <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>> Acesso em: 20 set. 2011.
- FRAYHA, R. **Rochas potássica**: mineração e metalurgia, Rio de Janeiro, v.15, n.87, p.85-6, 1950.
- HOROWITZ, A. ; et al.. Produção de adubos de solubilidade controlada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n.2, p.144- 157, 1978.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**, 6. ed., 2011. Disponível: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001150.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2013.
- KORNDÖRFER, G. H. **Apostila Potássio**, 2006. Disponível em : <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.
- MAFRA, A.L. et al,. **Disponibilidade de potássio para uso agrícola a partir de rochas**. Disponível: <http://www.udesc.br/arquivos/id_submenu/1148/111.alvaro_l_mafra___augusto_friedrichs.pdf> Acesso em 14 janeiro. 2013.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. **Agronômica Ceres**, São Paulo. 251 p.1980.

MARTINS, É. DE S. et al. Agrominerais :rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de Potássio para Agricultura.. In: LUZ, Adão B. & LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MONTE, M. B. de M.; NASCIMENTO, M. .Capítulo 7 – agrominerais. In: LUZ, Adão B. & LINS, Fernando A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

RAIJ, B.V. Potássio. In: RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, SP. Agronomica ceres,1991. p 206-217.

RAIJ B .van.; et al. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas-SP, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.285p.

SILVA, F. DE A. S. E. e AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

VILLA,M.R; FERNANDES, L.A; FAQUIN, V. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência** do solo, v.28, p.649-658,2004.

YAMADA, T.; ROBERTS,T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, 2005.841p.