



BRUNO DA SILVA MORETTI

**CALCINAÇÃO DO VERDETE E
CARACTERIZAÇÃO DO SEU POTENCIAL DE
USO AGRÍCOLA COMO FONTE DE POTÁSSIO**

LAVRAS – MG

2012

BRUNO DA SILVA MORETTI

**CALCINAÇÃO DO VERDETE E CARACTERIZAÇÃO DO SEU
POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA COMO FONTE DE POTÁSSIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Moretti, Bruno da Silva.

Calcinação do verdete e caracterização do seu potencial de uso agrícola como fonte de potássio / Bruno da Silva Moretti. – Lavras : UFLA, 2012.

75 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. Rocha potássica. 2. Extrator de potássio. 3. Rochagem. 4. Solubilidade. 5. Eficiência relativa. 6. Fontes alternativas de nutrientes. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.83

BRUNO DA SILVA MORETTI

**CALCINAÇÃO DO VERDETE E CARACTERIZAÇÃO DO SEU
POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA COMO FONTE DE POTÁSSIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de fevereiro de 2012.

Dr. Álvaro Vilela de Resende

EMBRAPA MILHO E SORGO

Dr. Francisco Dias Nogueira

EPAMIG

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto

Orientador

LAVRAS – MG

2012

Aos meus pais, Divino e Maria,
pelo apoio, incentivo, compreensão e amor incondicional,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Associação dos Mineradores de Pains, Arcos e Região – Central de Negócios (AMPAR); à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e à Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelo apoio financeiro e pela oportunidade proporcionada para realização do mestrado e do presente trabalho.

Ao professor e orientador Antônio Eduardo Furtini Neto, pela orientação, incentivo, apoio, paciência e amizade durante todo o período de trabalho em conjunto.

Aos pesquisadores Dr. Álvaro Vilela de Resende e Dr. Francisco Dias Nogueira, pela ajuda e sugestões para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador Dr. Éder de Souza Martins pelo apoio e contribuição para com o presente trabalho e atividades ligadas ao projeto Rockapl, ao qual sou grato pela concessão da bolsa que viabilizou a execução deste estudo.

Aos colegas Bruno Benatti, Daniele, Eduane, Julian e aos estagiários Cassiano, Lucas, Marina, Natan e Sabrina, pela amizade e essencial ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela amizade e colaboração em análises e interpretações de resultados.

A todos que, de forma direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho.

RESUMO

Mais de 80% do potássio consumido no Brasil provém de importação, porém, o país dispõe de rochas potássicas com potencial para exploração, distribuídas em grande parte do território nacional. O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da calcinação do verdete e da sua mistura com corretivos calcínicos e dolomíticos na eficiência como fonte de potássio para a cultura do milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com 67 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos foram dispostos em arranjo fatorial ($11 \times 6 + 1$), sendo 11 temperaturas de calcinação do verdete associadas com seis diferentes corretivos e um tratamento adicional com KCl. Os efeitos dos tratamentos foram avaliados por meio das variáveis: para os níveis de calcinação, foi avaliado o teor de potássio por diferentes extratores, matéria seca de parte aérea e raiz do milho, teor e acúmulo de potássio na parte aérea do milho e teor de potássio no solo, pelos extratores Mehlich-1 e ácido nítrico 1 mol L^{-1} . A calcinação alterou a solubilidade do verdete, tendo a faixa de temperatura entre $600 \text{ }^\circ\text{C}$ e $800 \text{ }^\circ\text{C}$ sido a que mais disponibilizou o potássio no solo, independente do corretivo utilizado. As misturas do verdete calcinado, na faixa de temperatura entre $600 \text{ }^\circ\text{C}$ e $800 \text{ }^\circ\text{C}$, com os corretivos dolomíticos, proporcionaram maior produção de matéria seca na parte aérea, raiz e maior acúmulo de potássio na parte aérea do milho. Os extratores água, citrato neutro de amônio mais água, ácido cítrico, ácido nítrico a 1 mol L^{-1} foram os que proporcionaram a melhor correlação com o potássio no solo, com a produção de matéria seca e acúmulo de potássio na parte aérea do milho.

Palavras-chave: Rocha potássica. Extrator de potássio. Rochagem. Solubilidade. Fontes alternativas de nutrientes.

ABSTRACT

Over 80% of the potassium consumed in Brazil comes from imports, but the country has potassic rocks with potential for exploitation, spread over much of the country. Our objectives were to evaluate the effects of calcination and its verdigris mixed with calcitic and dolomitic lime on the solubility of verdigris and use efficiency as a source of potassium for growing millet. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with 67 treatments and three replications. The treatments were arranged in a factorial design ($11 \times 6 + 1$), 11 calcination of verdigris mixed with six different correction and an additional treatment with KCl. Treatment effects were evaluated by measurements of variables: amount of potassium in the slime by different extractants, dry shoot and root of millet, potassium content and accumulation in shoots of millet and potassium content in soil by Mehlich-1 and nitric acid 1 mol L⁻¹. The changed solubility of the calcination being verdete the temperature range between 600 and 800 ° C was released more potassium in the soil, irrespective of the corrective used. Mixtures of verdigris calcined in the temperature range between 600 and 800 ° C with dolomitic lime were provided the highest dry matter production in shoots, roots and increased accumulation of potassium in the shoots of millet. Water extractors, neutral ammonium citrate more water, citric acid, nitric acid 1 mol L⁻¹ were those that provided the best correlation with the potassium in the soil, dry matter production and accumulation of potassium in the shoots of millet.

Keywords: K Rock. Extraction of potassium. Stonemeal. Solubility. Alternative sources of nutrients.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Fontes e teor de potássio em rochas silicáticas.....	11
2.2	Fontes alternativas de potássio	12
2.3	Formas de aumentar solubilidade das rochas.....	14
2.4	Determinação do potássio no verdete e no solo.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Experimento em casa de vegetação	21
3.2	Análises químicas complementares do verdete e do solo.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	Solubilidade das rochas.....	25
4.2	Experimento com milho	30
4.3	Nutrição mineral do milho.....	37
4.4	Correlação entre extratores, solo e planta	50
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICES	60

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira consome grandes quantidades de fertilizantes. Esse alto consumo está relacionado às características dos solos que são, na sua maior parte, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes. Entre os elementos exigidos pelas plantas está o potássio, que é um nutriente que possui reservas limitadas e não renováveis.

Assim, mais de 80% do potássio consumido no Brasil é proveniente de importação. Em 2011, o consumo nacional de potássio na agricultura chegou a marca de cinco milhões de toneladas, das quais cerca de apenas 1 milhão é de origem nacional. Como agravante para este fato, tem-se o esgotamento das reservas nacionais atualmente exploradas. Basicamente, todo o potássio nacional vem sendo extraído da reserva de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, Sergipe, com estimativa de exploração economicamente viável até o ano de 2017.

Uma alternativa potencial ao uso do fertilizante convencional é a utilização de pó de rocha, a chamada rochagem. Esta técnica consiste na moagem e na aplicação da rocha diretamente no solo com ou sem um tratamento prévio, de forma a aumentar a sua solubilidade.

O verdete é uma rocha silicática, que apresenta teores de K_2O entre 7% e 11%. Essa rocha apresenta grande potencial para exploração comercial, principalmente para uso local, porém, estudos têm mostrado que apenas a sua moagem e a aplicação direta no solo não a tornam adequada como fonte de potássio para culturas agronômicas.

Deste modo, há necessidade do desenvolvimento de uma tecnologia que aumente a solubilidade do potássio contido no verdete e torne viável seu uso agrícola. Diversas técnicas estão sendo estudadas para aplicação na rocha antes do seu uso, algumas com tratamento químico, físico e biológico. Todos os

tratamentos visam alterar a estrutura físico-química da rocha, aumentando sua solubilidade.

Dentre essas técnicas, a calcinação a temperaturas elevadas tem mostrado potencial para aumentar a solubilidade do K contido no verdete. Como vantagens da calcinação, destacam-se a facilidade operacional, o custo relativamente baixo e a possibilidade de associação a outras técnicas de solubilização.

Neste contexto, o presente trabalho foi realizado como objetivo de avaliar a eficiência do tratamento térmico na solubilidade do potássio do verdete e da sua associação com corretivos agrícolas para o crescimento e nutrição mineral do milho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fontes e teor de potássio em rochas silicáticas

O potássio (K) é um elemento classificado como macronutriente, devido à sua essencialidade e à quantidade exigida pelas plantas. Nos solos, é encontrado em três formas: potássio mineral, potássio trocável e potássio na solução (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2009).

O teor de potássio nas rochas, bem como o grau de liberação dos minerais que as formam, é muito variável, sendo que as micas e os feldspatos potássicos representam a maior parte dos minerais potássicos (LEITE, 1985). Por exemplo, nos granitos, o teor médio é de 3,8% de K_2O , nos andesitos é de 3,2% e nas rochas basálticas, de 0,7%. Nas rochas ultrabásicas, os teores variam entre 2% e 14% de K_2O . Teores de K_2O encontrado em micas são: biotita (7%-12%), flogopita (11%-17%), muscovita (7%-10%), ilita (4%-8%) e glauconita (5%-8%). Os feldspatos potássicos, como o ortoclásio, podem conter de 8% a 15% de K_2O , mas a sua solubilização natural é muito lenta (NASCIMENTO; MONTE; LOUREIRO, 2008).

Os depósitos de Sergipe, descoberto pela Petrobras e explorados pela Vale, possuem reservas de minério potássico que totalizam cerca de 508,6 milhões de toneladas de silvinita e 12,9 bilhões de toneladas de carnalita, cujos teores são, respectivamente, de 9,7% e 8,3% de K_2O (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2009). Porém, devido à intensa exploração ao longo dos anos, estima-se que seja viável economicamente a extração de potássio até o ano de 2017 (BRASIL, 2011).

Na década de 1980, alguns autores realizaram análises com a finalidade de caracterizar, tanto física quanto quimicamente, o verdete encontrado na região de Cedro do Abaeté - MG. Dentre esses autores, Eicher (1983) definiu o

verdete como uma rocha recristalizada, de textura clástica orientada e classificado como ardósia, com 95% de mica ilita-sericita. O mesmo autor também realizou análise de teor dos elementos contidos na rocha, onde encontrou: $\text{SiO}_2 = 59,03\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,00\%$; $\text{K}_2\text{O} = 11,42\%$; $\text{FeO}_3 = 6,32$; $\text{MgO} = 2,80\%$; $\text{FeO} = 0,88\%$; $\text{Na}_2\text{O} = 0,12\%$; $\text{MnO} = 0,04\%$; $\text{CaO} < 0,10\%$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,14\%$ e $\text{TiO} = 0,83\%$.

Piza, França e Bertolino (2010) estudaram sete amostras de verdete encontrado no município de Cedro de Abaeté, na região do Alto Parnaíba (MG) e concluíram que, de maneira geral, as amostras eram compostas de 37% de glauconita, 24% de quartzo, 14% de matriz argilosa marrom-clara, 7% de micas e 7% de óxidos de ferro, podendo ainda conter zircão, microclina, feldspato potássico, albita, mica branca, clorita e opacos. A coloração verde é dada pela presença de ferro. Inicialmente ferroso, ele substitui cátions neutralizados, como K^+ , Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , e, parcialmente, ferro férrico. A porcentagem de K_2O varia entre 7% e 14% (PIZA; FRANÇA; BERTOLINO, 2009).

A glauconita é um silicato lamelar hidratado de potássio e ferro cuja fórmula química é $(\text{K},\text{Na})(\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. O mineral é do tipo 2:1. Este mineral apresenta alto grau de substituição isomórfica dos íons Al^{3+} por Fe^{2+} . O principal cátion encontrado entre as lamelas é o K^+ , podendo haver também Na^+ e Ca^{2+} (SRASRA; TRABELSI-AYEDI, 2000). A glauconita também foi definida como mineral de sedimentos marinhos, mas que pode formar-se por intemperismo de várias rochas e resultar também de processos hidrotermais (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2010).

2.2 Fontes alternativas de potássio

A rochagem é uma tecnologia que tem o objetivo de diminuir a dependência de adubos convencionais, bem como tornar-se uma prática

facilmente adotada pelos agricultores, em função de seus princípios e, especialmente, de seus custos (THEODORO et al., 2006). Ela pode ser entendida como um processo de rejuvenescimento ou remineralização do solo, mediante a adição de pó de rocha/sedimentos ou seus derivados, com a capacidade de alterar positivamente os níveis de fertilidade dos solos, sem afetar, negativamente, o equilíbrio do meio ambiente.

De modo geral, as rochas utilizadas devem ser fontes naturais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de uma série de micronutrientes indispensáveis à nutrição vegetal. Tal tecnologia tem a pretensão de aliar dois setores que, tradicionalmente, não têm interação e que são considerados dois grandes vilões ambientais: mineração e agricultura. O problema de um (excesso de rejeitos) pode transformar-se em solução para o outro (fertilizantes/insumos) (THEODORO et al., 2006).

Theodoro et al. (2006) conduziram um experimento em um assentamento rural em Minas Gerais, comparando o uso do pó-de-rocha de Mata do Corda com a adubação convencional (NPK) e a adubação orgânica junto ao pó de rocha nas culturas do milho, cana-de-açúcar, arroz, mandioca e espécies hortícolas. Dentre os principais resultados, os autores concluíram que a produtividade nas parcelas adubadas com pó-de-rocha foi a mesma ou maior (superior a 40%) do que as parcelas em que foi utilizado fertilizante convencional, e que o uso adicional de compostos orgânicos foi vantajoso. Isso indica que a combinação de fertilizantes orgânicos e o pó-de-rocha podem preencher a maioria, ou mesmo todos, os requerimentos nutricionais de macro e micronutrientes.

Outros autores que também desenvolveram pesquisas para avaliar efeito de rochas silicáticas foram Barbosa Filho et al. (2006) e Ribeiro et al. (2010). Ambos desenvolveram estudos com as rochas ultramáfica alcalina, brecha piroclástica e flogopitito. Os autores concluíram que essas rochas, em especial a

ultramáfica alcalina e a brecha piroclástica, promoveram as maiores liberações de K e P no solo, além de apresentarem um efeito corretivo na acidez do solo.

2.3 Formas de aumentar solubilidade das rochas

O meio mais eficaz de aumentar a reatividade de rochas potássicas de baixa solubilidade é a introdução de uma fonte externa de energia, capaz de destruir ou alterar a estrutura cristalina do mineral (LEITE, 1985). A literatura mostra diversas opções de *input* de energia como forma de aumentar a solubilidade das rochas. Estes *inputs* de energia podem ser de natureza química, física e biológica, e, em muitos casos, os métodos estão relacionados uns com os outros, de forma direta ou indireta.

Como exemplo de solubilização de natureza biológica, pode-se citar o uso de bactérias e fungos, dos quais muitos têm a capacidade de solubilizar o potássio retido em minerais silicatados por meio de sua decomposição (WEED; DAVEY; COOK, 1969).

A acidificação ou a alcalinização prévias são métodos químicos que visam solubilizar a rocha por meio da quebra de ligações que dão estrutura ao mineral. Nesse contexto, Dutra (1980) verificou o efeito de acidificação da biotita e leucita com HCl e H₂SO₄ na liberação de K para a cultura do milho. O estudo foi conduzido em casa de vegetação e, de acordo com os parâmetros de crescimento e produção avaliados, o autor verificou que a biotita, quando acidificada, proporcionou crescimento semelhante aos encontrados nos tratamentos que receberam KCl como fonte de potássio. Já a leucita acidificada proporcionou as menores produções das plantas.

Na mesma linha de pesquisa, estudando o efeito da acidificação do verdete na disponibilidade do potássio para o milho, Santos (1984) testou quatro ácidos diferentes (ácidos nítrico, clorídrico, sulfúrico e fosfórico) em quatro

concentrações (10%, 20%, 30% e 40%), dos quais o H_2SO_4 e o H_3PO_4 , nas concentrações de 30% e 40%, proporcionaram as melhores respostas para a produção de matéria seca do milho. Esses resultados indicaram também que o efeito da acidificação vai depender do tipo de material que está sendo acidificado, além de outros fatores, como tempo de exposição ao ácido, tipo e concentração do ácido.

A moagem e a calcinação são tratamentos físicos, sendo que a moagem visa quebrar o mineral em partículas pequenas, aumentando, assim, a superfície específica do mineral, acelerando o seu processo de decomposição. A calcinação é uma técnica que promove a quebra da estrutura físico-química do mineral. Esta técnica pode proporcionar substituições isomórficas ou quebra da estrutura do mineral, aumentando assim a liberação do K contido no mineral. A calcinação também pode promover a liberação de compostos voláteis e água estrutural, o que resulta em aumento da concentração dos elementos restantes. A associação dessas duas técnicas está gerando bons resultados, o que indica um bom potencial dos métodos como forma de aumentar a reatividade da rocha.

O processo térmico para a solubilização de rochas potássicas tem sido pesquisado desde a década de 1980, devido à sua relativa simplicidade operacional e à possibilidade de se misturar outros materiais, culminando em um produto mais solúvel e com características agronômicas desejáveis. Em alguns trabalhos pioneiros foram encontradas respostas positivas na mistura de calcário com rochas fonte de K (EICHLER, 1983 ; LEITE, 1985).

Eicher (1983) estudou a disponibilidade do K do verdete-de-abaeté (VA) calcinado com e sem calcário magnesiano (CM), para a cultura do milho, em três cultivos sucessivos. Neste estudo, o autor trabalhou com três proporções de VA:CM (1:0, 3:1 e 1:1) e cada mistura foi submetida a três diferentes temperaturas: sem calcinação, calcinado a 800 °C e calcinado a 1.100 °C. O autor concluiu que apenas a moagem do verdete, calcinado ou não, não foi

suficiente para torná-lo fonte de potássio para a cultura do milho. No entanto, a mistura do VA com CM em partes iguais e calcinado a 1.100 °C foi uma boa alternativa como fonte de K, tendo proporcionado produção de matéria seca equivalente às plantas dos tratamentos que receberam KCl como fonte de K.

Na mesma linha de pesquisa de Eichler (1983), Leite (1985) avaliou a disponibilidade de K do verdete-de-abaeté (VA) misturado com calcário magnesiano (CM) e submetido a tratamento térmico. O autor testou seis diferentes proporções da mistura VA:CM (0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de CM) e três temperaturas de calcinação (sem calcinação, calcinação a 1.100 °C e fusão). A temperatura de fusão proporcionou maior solubilidade do K do VA para as misturas com até 40% de CM, porém, para a mistura com 50% VA e 50% CM, a temperatura de calcinação de 1.100 °C foi a que proporcionou maior solubilidade do K contido no verdete.

2.4 Determinação do potássio no verdete e no solo

A avaliação da disponibilidade de potássio (K) em rochas de baixa solubilidade está sendo um entrave para sua recomendação, visto que não existe uma metodologia definida para a determinação do K para esse tipo de insumo. Além disso, em função da natureza da rocha, o K pode ser mais facilmente removido, dependendo do tipo de extrator utilizado.

Assim, o extrator tem que atuar quebrando a energia que prende o nutriente no mineral ou coloide. A energia que prende o nutriente é que define se este está ou não disponível à planta, porém, cada espécie possui diferente capacidade de aquisição do nutriente. Plantas que têm raízes com maior exsudação de ácidos orgânicos, por exemplo, tendem a ser mais eficientes na aquisição de nutrientes, pois conseguem atuar mais ativamente na solubilização de minerais.

O potássio disponível nos minerais primários, como micas e feldspatos, só estará disponível no solo quando estes forem intemperizados. Assim, a determinação da disponibilidade do potássio estrutural para as plantas também pode ser obtida por cultivos sucessivos do solo e que avaliem o potássio não trocável extraído pelas plantas em determinado tempo de cultivo ou por métodos químicos de dissolução parcial do potássio estrutural (EICHLER, 1983).

Em virtude disso, é importante a escolha do extrator utilizado, sendo que extratores de baixo poder de solubilização e/ou remoção de potássio simulam o que a planta é capaz de extrair de imediato e extratores mais drásticos simulam o que a planta é capaz de extrair durante os cultivos sucessivos. Porém, com o aumento da tecnologia e o uso de novas filosofias de adubação (adubação orgânica, biofertilizantes, agrominerais, subprodutos da indústria, dentre outros), existe a necessidade de se adequar os métodos de análises do teor do nutriente, tanto de fertilizantes como do solo, visto que algumas metodologias podem subestimar ou superestimar o real teor disponível do nutriente. Martins et al. (2004) também relatam que a definição de métodos mais adequados para estimar a disponibilidade de K do solo para o cultivo de plantas possibilita um melhor manejo de fertilizantes, evitando perdas na qualidade e produtividade das culturas.

Para extrair o K e P prontamente disponíveis, Bortolon, Schindwein e Gianello (2009) testaram a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e a resina de troca iônica em solo sob sistema de plantio direto. Os autores verificaram que as quantidades de fósforo extraídas pelos métodos Mehlich-3 e resina de troca iônica foram superiores aos encontrados com o método Mehlich-1, enquanto, para o potássio, as quantidades extraídas foram semelhantes para as três metodologias estudadas, indicando que a eficiência de um extrator depende do nutriente avaliado.

Schlindwein, Bortolon e Gianello (2011) testando os mesmos extratores (Mehlich-1, Mehlich-3 e resina de troca iônica), para as culturas do milho, trigo e soja cultivadas no sistema de plantio direto, verificaram que as respostas das plantas à adubação com K foram maiores, na sequência milho, trigo e soja, indicando que a resposta à aplicação de potássio também depende da cultura avaliada. Os autores também verificaram que os teores críticos de K foram maiores com a solução Mehlich-3 e menores com a resina de troca iônica, o que foi atribuído ao tipo de ação de cada método, sendo o Mehlich-1 e o Mehlich-3 extratores ácidos, capazes de solubilizar parte do potássio contido nos minerais ou mais fortemente retidos no solo, correlacionando significativamente com a resposta da planta. Já o menor teor crítico de potássio determinado pelo método da resina de troca iônica está associado aos mecanismos da troca e à possível competição dos sítios de troca por outros cátions básicos, como Ca e Mg.

Alguns autores têm observado que o potássio acumulado pela planta não se correlaciona com o potássio obtido pela análise de solo. Se a planta tivesse à sua disposição apenas o que consta na análise de rotina, não seria possível obter o acúmulo por elas obtido. Essas observações são mais comuns quando o solo recebe, como adubo potássico, rochas de baixa solubilidade. Isso indica que, de alguma forma, as plantas estão extraindo potássio que se encontra na forma não-disponível ou que as análises de rotina estão subestimando o potássio verdadeiramente disponível.

Em vários trabalhos (CASTILHOS; MEURER, 2002; MELO et al., 1995; ROSOLEM; BESSA; PEREIRA, 1993) tem sido apontado que, apesar do baixo teor de K no solo determinado pelos extratores de rotina, as plantas têm apresentado um desenvolvimento satisfatório, sem manifestar sintoma de deficiência ou, mesmo, resposta à adubação potássica. Este fato pode estar relacionado à capacidade das plantas em alterar o pH da região da rizosfera, aumentando a dissolução de minerais que se encontram nesta região. Estudando

a exsudação de ácidos orgânicos pela rizosfera de algumas plantas, Silva et al. (2001) identificaram, na rizosfera de algumas plantas os ácidos oxálico, cítrico, acético, butírico e propiônico, tendo os dois primeiros sido encontrados em maiores concentrações em relação aos demais. Na mesma linha de pesquisa, Pires et al. (2007) identificaram e quantificaram os ácidos acético, cítrico, láctico e oxálico em plantas de braquiária, eucalipto, cana-de-açúcar e milho. Estes estudos são muito importantes, pois, se a planta exsuda ácidos orgânicos e esses ácidos atuam na solubilização de minerais, podem-se utilizar esses mesmos ácidos como extratores para determinar o teor disponível de um determinado nutriente no solo. Dessa forma, é de se esperar que os teores encontrados por esses extratores apresentem melhor correlação com o que a planta é realmente capaz de extrair.

O extrator à base de ácido cítrico consta de metodologia padrão do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para determinar o teor de fósforo solúvel e vem mostrando grande potencial para ser utilizado como metodologia para determinar o teor disponível de potássio. Em estudos recentes tem sido apresentada grande correlação entre o potássio absorvido pela planta e o potássio extraído pelo ácido cítrico. Um fator que reforça o potencial desse extrator é o fato de que o ácido cítrico é um dos principais ácidos orgânicos exsudados pelas raízes das plantas (PIRES et al., 2007) e, assim, é de se esperar que esse extrator represente com maior confiabilidade o teor de potássio disponível no solo.

Contudo, a escolha de um extrator para solo vai depender de alguns fatores, como espécie cultivada, nutriente a ser avaliado, tempo que a cultura irá permanecer na área, tipo de adubo que está sendo utilizado e se o objetivo é simular o que está prontamente disponível para a planta ou o que a planta terá disponível ao longo dos anos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O verdete (V) foi extraído na região de São Gotardo - MG e calcinado em 10 níveis diferentes de temperaturas (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000 °C). Na calcinação, efetuada em forno de mufla, a rocha foi mantida na temperatura desejada por duas horas.

As amostras foram submetidas à moagem em moinho rotativo de bola, por 20 minutos e o material foi separado em peneira de 100 mesh (0,15 mm) (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2007). O material que não passou pela peneira voltou ao moinho e repetiu-se o procedimento, até que toda a amostra atingisse a granulometria desejada. Para algumas amostras, em que a calcinação tornou o material mais resistente, foi necessária a utilização de gral de porcelana para a maceração da amostra até o diâmetro desejado.

Antes da instalação do ensaio, foram preparadas as misturas dos verdetes com seis corretivos na proporção de 50% do V e 50% dos seguintes corretivos: calcário dolomítico (CD), calcário calcinado dolomítico (CCD), cal dolomítica (CalD), calcário calcítico (CC), calcário calcinado calcítico (CCC) e cal calcítica (CalC).

De acordo com o teor total de K_2O do verdete (apêndice 17), calculou-se a quantidade da mistura a ser aplicada por vaso, para uma quantidade de potássio de 200 mg dm^{-3} .

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho, textura argilosa, coletado na camada de 0-30 cm, oriundo do campus da UFLA. O solo foi seco ao ar e passado em peneira de malha 5 mm e analisado quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1 Atributos iniciais do solo

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al
	----- mg/dm ³ -----			----- cmol/dm ³ -----		
5,7	0,84	9,36	4,60	1,20	0,10	0,10
H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO
----- cmol/dm ³ -----				----- % -----		
2,90	1,32	1,42	4,22	31,37	7,02	2,23
Prem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
----- mg/dm ³ -----						
3,66	0,34	19,87	3,60	1,74	0,04	31,74

Os corretivos foram analisados, no Departamento de Química da UFLA, quanto aos teores de Ca e Mg em seus respectivos óxidos, poder de neutralização (PN), reatividade (R) e poder relativo de neutralização total (PRNT) (Tabela 2).

Tabela 2 Análise dos corretivos utilizados nas misturas com o verdete

Identificação	CaO	MgO	PN	ER	PRNT
	----- % -----				
Calcário calcítico	56	0	97	100	97
Calcário calcinado calcítico	62	1	110	100	110
Cal calcítica	66	4	123	100	123
Calcário dolomítico	39	13	97	97	94
Calcário calcinado dolomítico	44	22	125	99	123
Cal dolomítica	45	24	134	100	134

PN = poder de neutralização; ER = eficiência relativa; PRNT = poder relativo de neutralização total. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007)

3.1 Experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 11 x 6 + 1. Os tratamentos foram

constituídos por 11 fontes de potássio na forma de verdete (verdete natural, verdete calcinado a 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000 °C), combinadas com seis corretivos e um tratamento adicional com KCl combinado com calcário dolomítico em 3 repetições para cada tratamento, totalizando 201 unidades experimentais.

O suprimento de N, P, S, B, Cu, Fe, Mo, Zn e Mn foi realizado, conforme Malavolta (1980) modificado para as dosagens 300; 280; 50; 0,5; 1,5; 5,0; 0,1; 5,0 e 3,6 mg dm⁻³, respectivamente. O nitrogênio foi dividido em três aplicações, sendo a primeira na instalação do experimento (100 mg dm⁻³); a segunda, 10 dias após a emergência das plantas (60 mg dm⁻³) e a terceira, 30 dias após a emergência (140 mg dm⁻³). O tratamento adicional recebeu o potássio na forma de KCl via solução e os demais tratamentos receberam o potássio exclusivamente via verdete. O Ca e Mg foram fornecidos unicamente por meio dos corretivos e os demais nutrientes foram fornecidos por meio da solução nutritiva, em dose única.

Após a aplicação dos tratamentos, os vasos, com volume de três dm³, foram incubados, por 20 dias, com umidade controlada a 60% do volume total de poros (VTP) e, ao término desse período, foram retiradas amostras de solo de cada vaso para novas análises (Apêndice 16).

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) foi utilizado como planta teste, com a manutenção de 15 plantas por vaso, após o desbaste. Irrigações diárias foram realizadas com água deionizada, visando manter a umidade em 60% do VTP.

No início do florescimento das plantas (aproximadamente 50 dias após o plantio), foi realizado o corte da parte aérea do milheto. O material colhido foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a 60 °C, até atingir peso constante, para posterior determinação da produção de matéria seca. O material vegetal foi moído em moinho tipo Willey e encaminhado para análise química, de acordo

com as metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), visando quantificar os teores e o posterior acúmulo de nutrientes em resposta aos tratamentos.

3.2 Análises químicas complementares do verdete e do solo

As amostras do verdete, em cada temperatura de calcinação, foram analisadas utilizando-se os seguintes métodos para quantificação de K: água, ácido cítrico (AC), citrato neutro de amônio + água (CNA), ácido nítrico 1 mol L⁻¹ (AN), ácido nítrico em micro-ondas (USEPA 3051) e ataque triácido (USEPA 3052) (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2007; SILVA, 2009). As amostras também foram encaminhadas para o *Acme analytical laboratories* (ACME), e foram analisadas pelos métodos 4A, 4B, e 1DX (ACME) onde a análise litogeoquímica foi realizada pelo Laboratório Acme (GO), por meio da utilização das amostras do verdete calcinado em todas as temperaturas de calcinação. Os principais óxidos foram analisados com o Espectrômetro de Emissão de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – ES). Em seguida as amostras foram submetidas à fusão em metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico diluído, sendo a perda ao fogo determinada pela diferença de peso da amostra antes e depois do aquecimento a 1000°C. O Espectrômetro de Massa em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) permitiu a análise dos elementos-traço. A metodologia para análise dos elementos terras raras (ETR) e elementos refratários foi a mesma descrita na determinação dos principais óxidos e os metais preciosos e de base ainda passaram por diluição em água régia. (ACME, 2010).

Para análise do potássio no solo, foram utilizados os extratores Mehlich-1 e ácido nítrico 1 mol L⁻¹ (SILVA, 2009).

A análise estatística dos dados foi realizada com o programa SISVAR (FERREIRA, 2011). Os dados foram submetidos a análise de variância e quando significativos, foi feito o teste de médias Scheffè ou Skott Knott, ao nível de 5% de probabilidade e de regressões quando pertinente.

Relacionando cada variável analisada em função das diferentes temperaturas de calcinação e misturas, foram ajustadas equação de regressão por meio das quais calculou-se o ponto de máxima.

Foi determinado o índice de eficiência agrônômica da calcinação (IEA_C) de cada tratamento e a eficiência relativa (ER) por meio das equações:

$$IEA_C = [(A - B) / (C - B)] \times 100,$$

sendo

A: valor da variável no ponto de máxima produção (valor correspondente à temperatura de calcinação que proporcionou a máxima produção da variável analisada);

B: valor da variável obtida com o verdete natural;

C: valor da variável obtida com tratamento controle (KCl).

$ER = (\text{valor da variável no ponto de máximo da curva}) / (\text{valor da variável no tratamento com KCl}) \times 100.$

Foram também realizadas correlações entre os extratores de potássio utilizados no verdete, extratores de potássio do solo, matéria seca da parte aérea do milho, teor e acúmulo de K na parte aérea do milho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solubilidade das rochas

Os teores de K_2O solúvel e total obtidos do verdete (V) em função das temperaturas de calcinação e dos extratores são apresentados na

Tabela 3. Os teores de K decresceram conforme a capacidade de extração dos métodos, na seguinte ordem: ACME > USEPA 3052 > USEPA 3051 > ácido nítrico > ácido cítrico > água > CNA.

Tabela 3 Teores de K_2O do verdete calcinado em diferentes temperaturas sob diferentes metodologias de extração

	Água	CNA	Ac. cítrico	Ac. nítrico	USEPA 3051	USEPA 3052	ACME
	----- % de K_2O -----						
VSC	0,03	0,01	0,03	0,14	0,36	4,27	11,18
100*	0,04	0,01	0,04	0,18	0,41	4,63	11,11
200	0,04	0,01	0,06	0,18	0,37	3,30	11,16
300	0,06	0,02	0,09	0,19	0,47	3,76	11,06
400	0,06	0,03	0,13	0,25	0,48	3,67	11,16
500	0,07	0,04	0,21	0,41	0,64	3,85	11,19
600	0,07	0,05	0,25	0,59	1,06	3,65	11,38
700	0,07	0,04	0,21	0,60	1,43	3,42	11,19
800	0,08	0,04	0,19	0,65	1,86	3,65	11,24
900	0,04	0,03	0,08	0,32	0,99	3,01	11,33
1000	0,03	0,02	0,06	0,13	0,22	3,88	11,21

VSC: verdete sem calcinação. *Temperatura de calcinação do verdete em °C

O método ACME foi o que permitiu a maior extração de K do verdete (V), independente da temperatura de calcinação. Para todas as temperaturas de calcinação, os valores ficaram próximos de 11%.

O método USEPA 3052 também não apresentou diferenças nos teores de potássio solubilizado, em função das diferentes temperaturas de calcinação e foi o segundo extrator com maior poder de extração do K (

Tabela 3). Em média, este extrator solubilizou 1/3 do potássio total do V, se comparado com a extração pelo ACME, podendo, assim, ser considerado um extrator semitotal.

Para que um produto seja tratado como adubo, é preciso determinar suas garantias de nutrientes de acordo com o Ministério da Agricultura (MAPA), que é o órgão do governo responsável pela fiscalização da produção e da comercialização de fertilizantes e insumos básicos e que estabeleceu que, para fertilizantes potássicos e solúveis convencionais, comercializados até então no Brasil, o método oficial seja do nutriente solúvel em água (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2007). Este método tem baixo poder de solubilização, representando, assim, o teor de K que está prontamente disponível no solo e, conseqüentemente, para as plantas.

Nesse contexto, realizou-se a extração do K do verdete com o método oficial do MAPA (extração em água) e mais dois métodos considerados de baixo poder de extração, o ácido cítrico e o citrato neutro de amônio + água (CNA). Os resultados da análise de variância para os teores de potássio do verdete solúvel em água, em ácido cítrico e em citrato neutro de amônio + água (CNA) mostram que houve diferença significativa na solubilidade obtida em função da calcinação em diferentes temperaturas (Tabela 1A). É possível observar que o K extraído pelos três extratores seguiu o modelo quadrático, com o R^2 variando de 74% a 82%. Pelas equações, verificou-se que a temperatura de calcinação que proporcionou maior solubilidade ao verdete foi de 575 °C com o ácido cítrico, 656 °C para o CNA e 552 °C para água (Gráfico 1), embora todos estes métodos apresentem em relação aos métodos mais drásticos (ACME e USEPA 3052) teores de K_2O bastante baixos (Tabela 3).

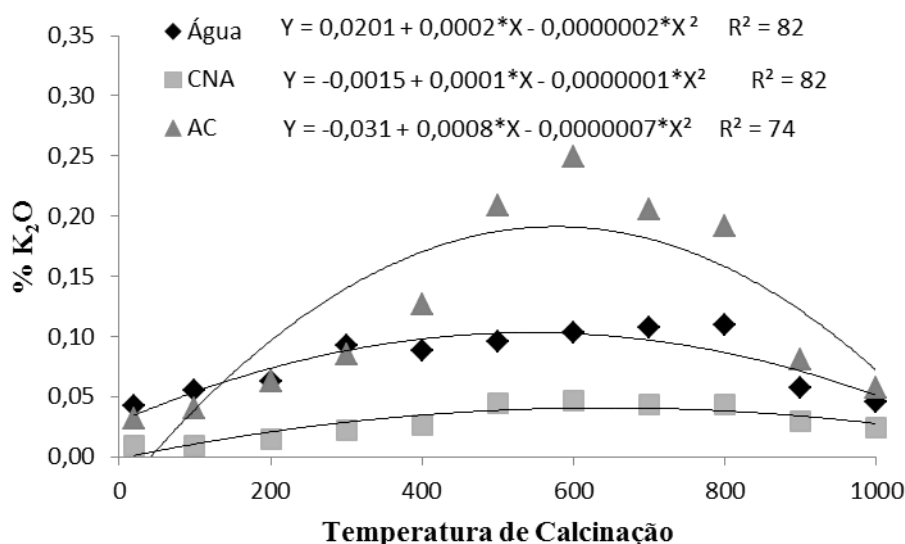


Gráfico 1 Teores de K₂O extraídos do verdete por água, CNA e ácido cítrico, em função da temperatura de calcinação

Dentre estes três extratores, o ácido cítrico (AC) foi o que proporcionou a maior extração de potássio (TCm: 577°C; Teor de K₂O na TCm: 0,19%), seguido da água (TCm: 543°C; Teor de K₂O na TCm: 0,10%) e do CNA (TCm: 542°C; Teor de K₂O na TCm: 0,04%) (Gráfico 1). Estes resultados indicam que o ácido cítrico promoveu maior alteração na estrutura físico-química do verdete, provavelmente por apresentar o menor pH entre os três métodos. Por se tratar de um ácido orgânico, frequentemente encontrado na região da rizosfera das plantas (MENOSSO et al., 2001), espera-se que este extrator represente, uma boa correlação entre o potássio solúvel no solo e o K extraído pelas culturas. Segundo Bastos et al. (2007) o extrator a base de ácido cítrico a 2% apresenta pH em torno de 2,3 e assim sua ação baseia-se em dois fatores: ação complexante do ácido cítrico, OH e COOH que podem formar complexos com os cátions da solução e da estrutura dos minerais, além dos seus íons na acidez da solução. O H⁺ da solução podem remover o K adsorvido no mineral e

também o K estrutural por ter alta afinidade de ligação com o oxigênio da lâmina tetraedral do mineral (DATTA; SASTRY, 1993), assim ele diminui a carga negativa que retém o K, aumentando sua solubilidade.

Apesar de os extratores água, AC e CNA representarem o teor de K prontamente disponível, para determinar o efeito residual da rocha é necessário o uso de extratores mais drásticos, que simulem o teor de K disponível para os cultivos sucessivos. Assim, utilizaram-se os extratores ácido nítrico 1 mol L⁻¹ e o método USEPA 3051, que por extraírem parte do potássio não-trocável, podem ser considerados intermediários (KAMINSKI et al., 2007).

O teor de potássio extraído pelo ácido nítrico 1 mol L⁻¹ (AN) e em micro-ondas (USEPA 3051) são apresentados no Gráfico 2, na qual é possível verificar que a calcinação influenciou a solubilidade do potássio do verdete, tendo o método USEPA 3051 extraído mais K em relação ao AN. Também é possível verificar que houve um aumento muito pequeno (praticamente constante até a temperatura de calcinação de 400 °C) na solubilidade do verdete, indicando que a calcinação até a temperatura de 400 °C, provavelmente, não alterou a estrutura cristalina do mineral a ponto de aumentar sua solubilidade.

O maior efeito da calcinação na disponibilidade de K deu-se entre as temperaturas de 600 °C e 800 °C, com o extrator NA, e em torno de 800°C para o extrator USEPA 3051. É provável que a calcinação na temperatura de 600 °C tenha proporcionado uma mudança na estrutura do verdete, de tal forma que tenha aumentado a disponibilidade do K sob uma menor energia de extração (ácido nítrico), pois a calcinação a 800 °C proporcionou uma maior liberação de K pelo método USEPA 3051, que é um método mais drástico que o do ácido nítrico 1 mol L⁻¹. O mecanismo de ação dos extratores ácidos, como o ácido nítrico (HNO₃), mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) e o ácido cítrico (C₆H₈O₇), é baseado na manutenção da atividade do ion H⁺ na solução, em concentração suficiente para dissolução de formas inorgânicas (RAIJ, 2010).

Também é possível observar que a partir de 800 °C ocorrem alterações no material, visto que a sua solubilidade diminui drasticamente, chegando à temperatura de 1.000 °C, com solubilidade inferior a 12% daquela obtida na calcinação a 800 °C pelo extrator USEPA 3051 e 20% para o ácido nítrico (Gráfico 2).

Devido ao fato de os teores de K terem se mantido constantes até a temperatura próxima de 400 °C para os extratores ácido nítrico e USEPA 3051 (Gráfico 2) e ao acentuado aumento no teor de K quando o verdete foi calcinado entre 600 e 800 °C, não foi possível ajuste de equações de regressão que expliquem este comportamento.

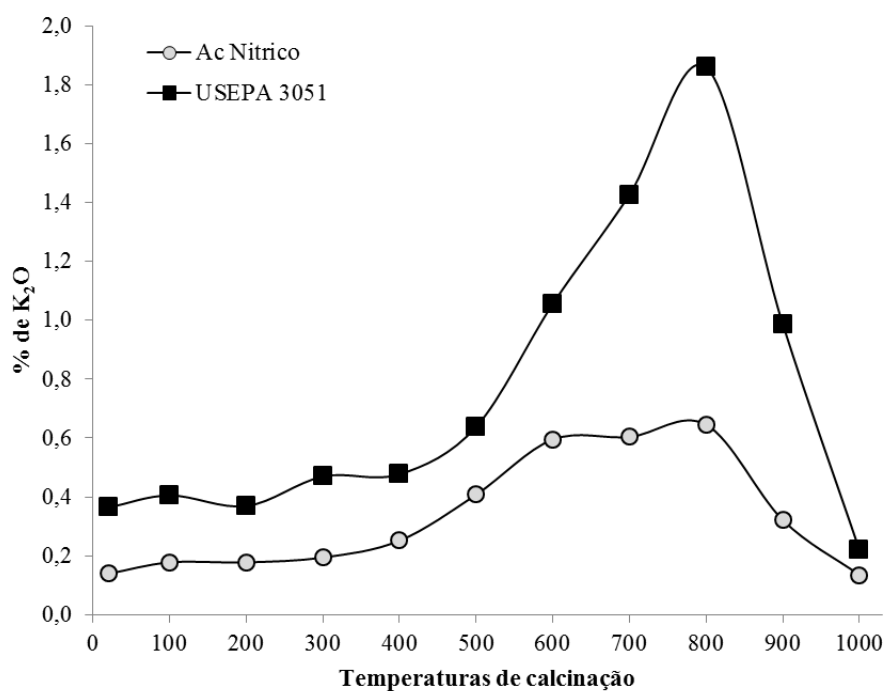


Gráfico 2 Teores de K_2O extraído do verdete pelo ácido nítrico e pelo método USEPA 3051, em função das temperaturas de calcinação

Araújo (2010), estudando a liberação de potássio do sienito nefelínico, uma rocha potássica da região de Poços de Caldas, MG, realizou um experimento no qual calcinou amostras moídas da rocha a 800, 900 e 1.000°C. Após a calcinação, realizou a extração do potássio agitando a amostra em água por 3 horas. O autor observou que a calcinação da rocha à temperatura de 900°C foi a que proporcionou maior solubilidade e atribuiu o resultado à alteração estrutural sofrida pela rocha nesta faixa de temperatura. Os resultados encontrados neste trabalho corroboram, em parte, os encontrados por Araújo (2010), indicando que a calcinação tem efeito na solubilização das rochas potássicas e que a temperatura que proporciona a maior solubilização do potássio depende da rocha estudada.

As metodologias de extração à base de ácido nítrico a 1 mol L⁻¹ e a USEPA 3051 possuem um poder de solubilização intermediário, dentre as metodologias utilizadas, sendo mais drásticas que os métodos da água, CNA e AC. É provável que os métodos AN e USEPA 3051 representem o efeito residual da rocha simulando o K que seria disponibilizado em cultivos sucessivos.

4.2 Experimento com milho

A análise de variância mostrou que as temperaturas de calcinação e os diferentes corretivos influenciaram significativamente a produção de massa seca da parte aérea, da raiz, os teores e o acúmulo de potássio no milho, na época do florescimento (Tabelas 2A e 3A).

A tendência quadrática da produção de MSPA do milho foi semelhante à observada nos resultados de solubilidade do verdete (Gráficos 1 e 2), compatível com o aumento da solubilidade da rocha e que, conseqüentemente, resulta no aumento da disponibilidade de K no solo.

A matéria seca da parte aérea do milho apresentou diferenças em função dos tratamentos (Tabela 4A), sendo maior nos tratamentos que receberam a mistura do verde com corretivos dolomíticos (CD, CCD e CalD). Isso ocorreu devido ao fato de que o solo natural apresenta teores quase nulos de Ca e Mg (Tabela 1). Como o único fornecimento de Ca e Mg deu-se via corretivos, os tratamentos que receberam a mistura do verde com os corretivos calcínicos (CC, CCC e CalC) apresentaram teor de Mg no solo muito baixo (Tabela 16A), sendo este o nutriente que, provavelmente, mais limitou o crescimento das plantas desses tratamentos.

A mistura do verde com cal dolomítica foi a que proporcionou a maior produção de matéria seca de parte aérea (17,2 g), com ER de 61% em relação ao KCl e também proporcionou o maior IEA_C (49%) (Tabela 4). Quanto maior o valor do IEA_C maior a diferença entre a produção do tratamento que recebeu o verde natural e a produção do tratamento que recebeu o verde calcinado na temperatura que proporcionou a máxima produção. O maior valor do IEA_C para MSPA das plantas de milho submetidas ao tratamento com a mistura do verde com cal dolomítica indica que, para o solo utilizado, a cal dolomítica (CalD) foi o melhor corretivo para a mistura com verde.

Além deste aspecto, é importante salientar que estes resultados indicam a possibilidade de após a calcinação do verde, poder-se efetuar a mistura do material com distintos corretivos, adequados a cada tipo de solo e baseados nos resultados da sua análise química.

Tabela 4 Temperatura de calcinação do verdete que proporcionou a máxima produção de matéria seca da parte aérea do milho em função da mistura com os diferentes corretivos e os respectivos índices de eficiência obtidos

Corretivo	TC _m	MSPA _m	IEA _c	ER
	°C		%	
CD	577	10,27	29	36
CCD	582	14,39	41	51
CalD	584	16,63	49	61
CC	422	2,88	04	10
CCC	662	3,38	05	12
CalC	562	5,51	11	20

TC_m = temperatura de calcinação que permitiu a máxima produção de MSPA para cada corretivo; MSPA_m = matéria seca da parte aérea do milho máxima; IEA_c = índice de eficiência agrônômica da calcinação; ER = eficiência relativa; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Também é importante frisar que o milho foi a primeira cultura a ser implantada e dois fatores podem ter contribuído para que a mistura do verdete com a CalD tenha proporcionado maior crescimento para as plantas de milho. O primeiro fator está relacionado ao tempo de reação da cal no solo, que é mais rápido que a do calcário e do calcário calcinado. O segundo fator é que, devido ao fato da cal ser composta basicamente de óxidos de cálcio e magnésio, uma vez que a quantidade de corretivo foi a mesma para todos os tratamentos, o fornecimento e os teores de Ca e Mg foram maiores no solo para os tratamentos que receberam a mistura do verdete com a CalD.

Assim como no grupo dos corretivos dolomíticos, nos calcíticos, a cal também se destacou em relação aos demais corretivos, tendo as plantas dos tratamentos compostos da mistura de verdete com cal calcítica (CalC) apresentado maior MSPA do que as plantas que receberam a mistura da rocha com os demais corretivos calcíticos (CC e CCC). As plantas que receberam a mistura do verdete com corretivos calcíticos apresentaram teor de Mg baixo

(tabela 16A), apesar disto, como é possível verificar na tabela 2, a CalC apresentou teor de 4% de MgO, o que, provavelmente, contribuiu para que a mistura do verdete com este corretivo proporcionasse um ligeiro incremento em matéria seca.

As misturas do verdete com os corretivos calcínicos apresentaram baixo IEA_C, indicando que o efeito da calcinação do verdete na produção do milho foi menor quando misturado aos corretivos calcínicos. Ao comparar as máximas produções do milho em cada corretivo, observa-se que o calcário calcínico foi o que proporcionou a menor produção de MSPA pelas plantas de milho. Além disso, a ER e o IEA_C das plantas de milho submetidas à mistura do verdete com calcário calcínico foram os menores, o que mostra que o valor de máxima produção de MSPA foi bem inferior ao obtido pelo tratamento referência (KCl).

O modelo que melhor representou a produção da matéria seca da parte aérea do milho em função das diferentes temperaturas de calcinação, para todos os corretivos, foi o quadrático (Gráfico 3). A produção do milho em função da aplicação de KCl também está apresentado no Gráfico 3, como referência.

Os resultados da análise de variância da matéria seca de raiz (Tabela 2A) em função dos tratamentos mostraram que a interação foi significativa entre os corretivos e as temperaturas de calcinação, indicando que a resposta em crescimento de raiz à calcinação depende do corretivo utilizado.

Assim como para a MSPA, a equação quadrática se adequou ao comportamento da MSR em função dos tratamentos, com um coeficiente de determinação (R^2) que variou de 64% a 80% (Tabela 5), indicando que houve aumento na produção de MSR com o aumento da temperatura de calcinação do verdete, até uma temperatura de calcinação em que a MSR foi máxima (TC_m). Com o aumento da temperatura de calcinação a partir do ponto TC_m , a produção de MSR diminuiu, provavelmente devido à diminuição da disponibilidade de

potássio no solo em função da redução na solubilidade do K do verdete, compatível com a solubilidade do nutriente.

A produção de matéria seca de raiz, acompanhando os resultados obtidos para a matéria seca de parte aérea do milheto, no geral, foi maior nos tratamentos que receberam as misturas de verdete com corretivos dolomíticos, tendo o maior crescimento ocorrido nas plantas que receberam o verdete com cal dolomítica. É importante lembrar que além de maior MSR, essa mistura também proporcionou maiores IEAc e ER.

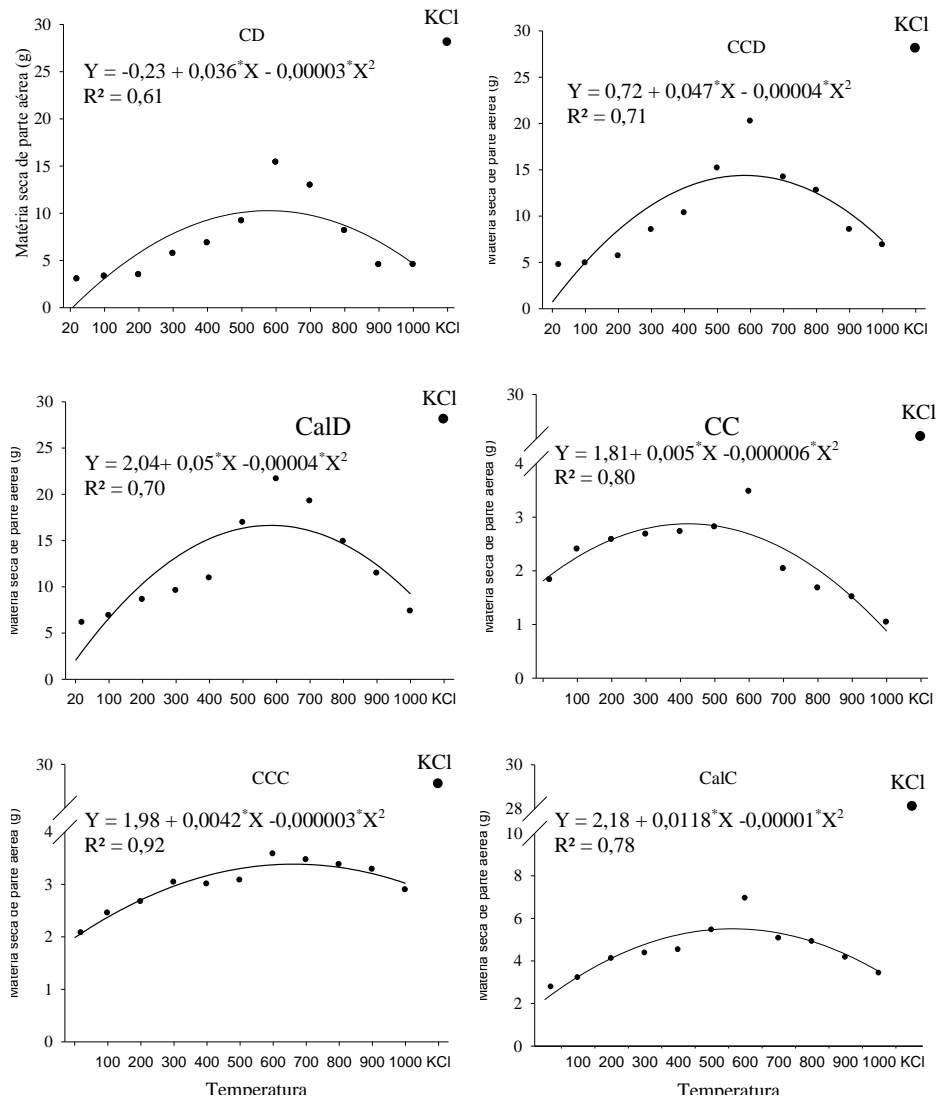


Gráfico 3 Matéria seca de parte aérea do milho, em função da temperatura de calcinação do verdete e em mistura com corretivos e do tratamento com KCl. CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Tabela 5 Equações de regressão ajustada para a produção de matéria seca de raiz (MSR) em função da mistura do verdete com os corretivos em diferentes temperaturas de calcinação

Corret.	Equações Polinomiais	R ²	TC _m °C	MSR _m g	IEA _c %	ER
CD	$Y = 0,66 + 0,019 * X - 0,000015 * X^2$	0,70	633	6,7	22	32
CCD	$Y = 0,27 + 0,0243 * X - 0,00002 * X^2$	0,64	601	7,3	26	34
CalD	$Y = 3,71 + 0,0192 * X - 0,000016 * X^2$	0,67	593	9,4	25	44
CC	$Y = 1,24 + 0,0018 * X - 0,000003 * X^2$	0,80	337	1,5	01	07
CCC	$Y = 1,17 + 0,0038 * X - 0,000004 * X^2$	0,73	514	2,2	05	10
CalC	$Y = 1,1 + 0,0073 * X - 0,000007 * X^2$	0,68	533	3,1	09	15

TC_m = temperatura de calcinação que permitiu a máxima produção de MSR para cada corretivo; MSR_m = matéria seca de raiz do milho máxima; IEA_c = índice de eficiência agrônômica da calcinação; ER = eficiência relativa; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Tanto nos tratamentos que receberam o verdete com corretivos calcíticos, como dolomíticos, a cal foi a que proporcionou maior produção de matéria seca de raiz (MSR). A explicação para este fato pode ser dada em função da composição química do material que compõe o calcário e a cal. Na dissolução do calcário, o ânion acompanhante do Ca²⁺ é o CO₃²⁻, o qual é uma base fraca, o que significa que a formação dos íons OH⁻ é lenta. Por outro lado, a cal (CaO e MgO) tem caráter de base forte e a formação dos íons OH⁻ é imediata (FURTINI NETO et al., 2001).

No geral, a temperatura de calcinação que proporcionou maior produção de MSR foi próxima dos 600 °C (tabela 5), indicando que nesta temperatura, o tratamento térmico provavelmente provocou mudança na estrutura físico-química do mineral, a qual possibilitou melhor condição para o desenvolvimento da raiz. Observando as MSR_m e comparando com as produções obtidas nos tratamentos compostos da mistura do verdete natural com cada corretivo, a TC_m proporcionou produções de MSR 2,68, 2,92, 1,75, 1,1, 1,7 e 2,2 vezes maiores que as produções obtidas na mistura do verdete natural, respectivamente, com os

corretivos CD, CCD, CalD, CC, CCC e CalC, o que confirma a eficiência da calcinação como pré-tratamento do verdete como fonte de K.

Apesar de ter ocorrido diferença significativa entre o tratamento referência (KCl) e os demais tratamentos, nos quais as plantas de milho apresentaram menor MSR (tabela 4A), a eficiência relativa (ER) mostrou que, para o solo utilizado, a mistura do verdete com os corretivos dolomíticos, principalmente a CalD (ER = 44%), foi uma boa alternativa ao uso do KCl como fonte de potássio (tabela 5).

4.3 Nutrição mineral do milho

Na tabela 6 estão apresentados os teores e o acúmulo de potássio da parte aérea do milho, de cada tratamento, na fase inicial de florescimento.

O teor é muito influenciado por fatores intrínsecos ou não à cultura. Uma planta que tem seu crescimento limitado por algum nutriente pode apresentar valores mais elevados dos outros nutrientes, caracterizando um efeito de concentração. Neste trabalho, este fato pode ser observado nos tratamentos que receberam a mistura do verdete com corretivos calcínicos, onde os teores de K foram maiores quando comparados com as misturas do verdete com os corretivos dolomíticos.

Tabela 6 Teores e acúmulo de potássio na parte aérea do milho, em função das temperaturas de calcinação do verdete e dos corretivos na mistura

	Teor de K na PA do milho (g kg ⁻¹)						Acúmulo de K na PA do milho (mg vaso ⁻¹)					
	CD	CCD	CalD	CC	CCC	CalC	CD	CCD	CalD	CC	CCC	CalC
VSC	5,17NS	4,62NS	4,74NS	7,21NS	5,55NS	6,29NS	15,59*	21,82*	28,95*	13,20*	11,46*	17,38*
100	5,16NS	4,59NS	4,34NS	7,98NS	6,98NS	6,87NS	16,95*	22,51*	29,80*	19,15*	17,01*	21,96*
200	5,53NS	5,29NS	3,88NS	6,61NS	7,56NS	6,00NS	19,10*	29,94*	33,31*	17,00*	20,25*	24,60*
300	5,20NS	3,96NS	3,79NS	7,35NS	6,06NS	5,93NS	29,69*	33,67*	36,21*	19,72*	18,28*	25,85*
400	5,65NS	4,31NS	4,14NS	10,61NS	10,14NS	8,54NS	38,53*	44,48*	45,35*	28,92*	30,28*	38,54*
500	5,71NS	4,25NS	3,82NS	11,39NS	11,39NS	8,39NS	52,27*	64,22*	64,71*	32,02*	34,99*	45,64*
600	4,60NS	4,30NS	4,15NS	11,07NS	11,23NS	8,02NS	70,73*	86,92*	89,61*	38,29*	40,12*	55,12*
700	3,92NS	4,34NS	3,31NS	11,23NS	9,79NS	9,02NS	50,62*	61,45*	63,61*	22,78*	33,70*	45,50*
800	5,43NS	4,05NS	3,53NS	11,32NS	7,88NS	6,68NS	44,11*	51,69*	52,43*	18,99*	26,70*	32,71*
900	5,29NS	3,33NS	2,89NS	6,63NS	5,98NS	5,85NS	23,86*	28,42*	33,07*	9,99*	19,57*	24,24*
1000	4,17NS	3,58NS	3,46NS	6,73NS	5,48NS	5,56NS	18,92*	24,36*	25,34*	6,95*	15,45*	18,98*
KCl	7,31						205,61					

*Significativo e NS = não significativo pelo teste de Scheffè, a 5% entre o tratamento referência e os demais tratamentos; DMS Scheffè para teor de K: 4,17; DMS Scheffè para acúmulo de K: 38,43; VSC = verdete sem calcinação; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Para as plantas que receberam a mistura do verdete com corretivos dolomíticos, o teor médio foi próximo de $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ e, para as plantas que receberam as misturas do verdete com os corretivos calcíticos, o teor médio foi próximo de $8,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Gráfico 4), inferiores aos valores de literatura. Rosolem et al. (2003) encontraram teores de $9,9$ e $35,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de K na parte aérea do milho aos 28 dias após emergência, respectivamente para doses de 15 e 120 mg dm^{-3} de K aplicadas no solo. Estes autores ainda verificaram que os maiores teores de potássio foram encontrados nas plantas submetidas à maior dose de potássio. No presente trabalho, nas plantas de milho que receberam a mistura de verdete com corretivos calcíticos, foram observados maiores teores de potássio, independente da temperatura de calcinação. Por outro lado, as plantas que receberam a mistura do verdete com os corretivos dolomíticos apresentaram, de forma geral, menores teores de K, independente da temperatura de calcinação do verdete (Tabela 6).

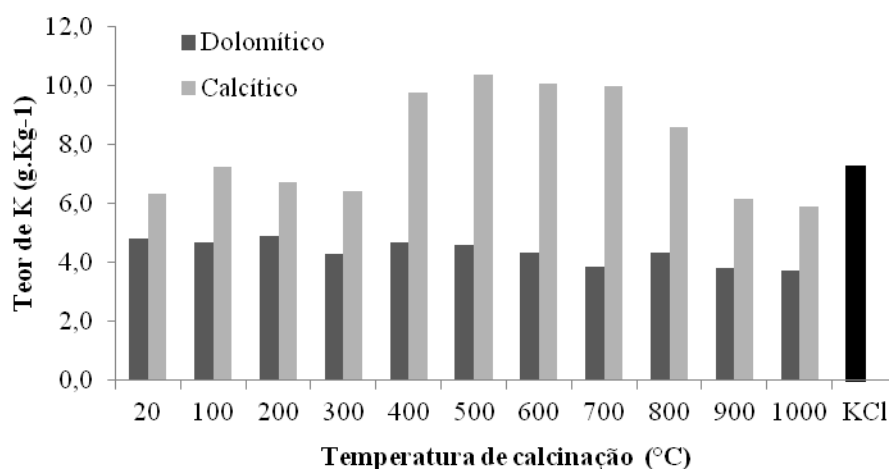


Gráfico 4 Teores de potássio na matéria seca do milho em função das temperaturas de calcinação do verdete em mistura com os corretivos dolomíticos e calcíticos e do tratamento com KCl

O teor de K da parte aérea do milho também foi inferior aos encontrados por Moraes (2001), de 17,2 g kg⁻¹; Carvalho (2000), de 17,7 g kg⁻¹; Oliveira, Carmello e Mascarenhas (2001), de 18,8 g kg⁻¹ e Teixeira et al. (2005), de 17,5 g kg⁻¹. Porém, é importante salientar que os experimentos desses autores foram realizados em campo e com outras cultivares, o que pode interferir significativamente nos teores foliares. Santos et al. (2010) em revisão de literatura encontraram teores foliares de K que variam de 11,68 a 74,2 g kg⁻¹, conforme a época do ano, o local de plantio, a cultivar e a fase de desenvolvimento do milho.

Marriel et al. (2008) conduziram um experimento em casa de vegetação, durante 56 dias, com milho, no qual testaram a eficiência de três rochas (biotita, flogopitito e RMS) inoculadas com fungos, no suprimento de potássio e, como forma de comparação, utilizaram o KCl. As doses de potássio aplicadas nos vasos foram equivalentes a 37,5 e 75 mg dm⁻³. Os teores de K na parte aérea do milho encontrados pelos autores para as plantas dos tratamentos com KCl foram de 12,9 e 16,4 g kg⁻¹ de K, respectivamente, para as dosagens de 37,5 e 75 mg dm⁻³ de K, enquanto que para as rochas, os teores variaram entre 8,5 a 17,7 g kg⁻¹. Resultado semelhante pôde ser observado no presente trabalho, no qual as plantas do tratamento referência (KCl) apresentaram teor inferior ao teor médio encontrado nas plantas que receberam a mistura do verdete com os corretivos dolomíticos. No caso do trabalho supracitado o número de plantas por vaso não foi informado, com isso, a comparação entre os teores com o presente trabalho deve ser feita com cautela, uma vez que o número de plantas por vaso influencia o teor de nutrientes na planta, visto que com um menor número de plantas o dreno é menor e os teores podem ser maiores.

No geral, foi possível observar que as misturas do verdete com corretivos dolomíticos proporcionaram maior produção de MSPA e de MSR, mas o teor de potássio na parte aérea do milho foi significativamente menor,

quando comparado com os teores de K encontrados nas plantas dos tratamentos submetidos às misturas de verdete com corretivos calcínicos (Gráfico 4), independente da temperatura de calcinação. Este fato pode ser explicado por um efeito de concentração de K nas plantas submetidas aos corretivos calcínicos, uma vez que nesse caso a MSPA destes últimos tratamentos foi menor (Tabela 4).

Entre os tratamentos que receberam a mistura de verdete com corretivos calcínicos, aqueles que proporcionaram maior produção de MSPA (Gráfico 3) também propiciaram a obtenção de maiores teores de K na parte aérea do milho (Gráfico 4). Isso ocorreu, provavelmente, devido às melhores condições na fertilidade do solo dos tratamentos que receberam a mistura do corretivo calcínico com verdete calcinado em temperaturas próximas de 600°C. Vale ressaltar que, apesar de alguns tratamentos que receberam a mistura do verdete com corretivos calcínicos terem proporcionado ao milho maior desenvolvimento, ainda assim, no geral, as plantas dos tratamentos que receberam a mistura do verdete com corretivos dolomínicos apresentaram produções de matéria seca de parte aérea e de raiz significativamente superiores (Tabela 4 e Tabela 5).

Não houve diferença significativa nos teores de potássio na parte aérea do milho (Tabela 6), quando se compararam as médias dos tratamentos com a média do tratamento referência – KCl (Scheffè, 5%). Porém, houve diferença significativa entre as médias do tratamento com KCl e os demais tratamentos para o acúmulo de potássio na parte aérea do milho. O maior acúmulo de potássio nas plantas do tratamento referência está relacionado, principalmente, à maior MSPA das plantas, que dispunham de uma maior quantidade de potássio no solo prontamente disponível para seu crescimento.

O acúmulo de potássio na parte aérea do milho variou em função das temperaturas de calcinação e corretivos (Tabela 4A). Indicando que tanto a

calcinação, quanto os corretivos, proporcionaram diferenças significativas no acúmulo de K na parte aérea do milho.

As misturas do verdete calcinado a temperaturas próximas de 600 °C, com os seis corretivos, foram as que proporcionaram os maiores acúmulos de K pelas plantas de milho (Gráfico 5). Esse resultado corrobora os resultados encontrados nas análises de solubilidade do verdete, em que a calcinação a 600 °C propiciou maior solubilidade da rocha (Tabela 3 e Gráficos 1 e 2).

Também o IEAc e a ER indicam que os tratamentos cujo acúmulo de potássio na parte aérea do milho foi maior e mais próximo do obtido no tratamento com KCl foram aqueles nos quais houve a associação do verdete calcinado a uma temperatura próxima de 600 °C com corretivo dolomítico, principalmente para a cal dolomítica e para o calcário calcinado dolomítico, que apresentaram, respectivamente, ER de 49% e 47% e IEAc de 38% e 43% (Tabela 7). Além disso, nos tratamentos que receberam as misturas do verdete com os corretivos calcínicos, apesar das plantas terem apresentado maiores teores de K, os acúmulos foram menores, devido às menores produções de MSPA.

Deve-se atentar para o fato de que este estudo, conduzido em casa de vegetação e sob condições controladas, refere-se aos resultados do primeiro cultivo, não se considerando, neste caso, o efeito residual das rochas e misturas utilizadas. É importante destacar que conforme sugerido por Eichler (1983), uma maior disponibilidade do K estrutural pode ser obtida por cultivos sucessivos que considerem o potássio não trocável extraído pelas plantas com o tempo.

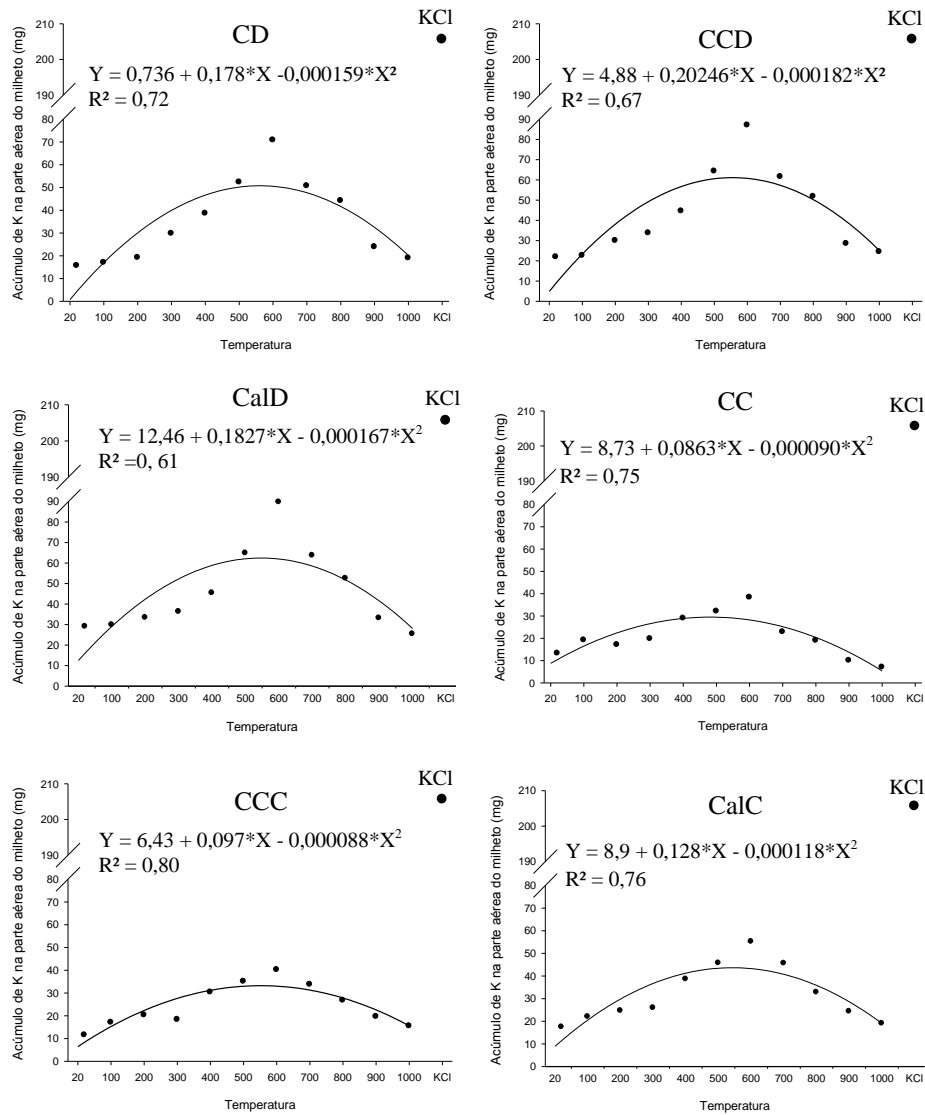


Gráfico 5 Acúmulo de potássio na matéria seca da parte aérea do milho em função da temperatura de calcinação do verdejo em mistura com cada corretivo e do tratamento com KCl

Tabela 7 Temperatura de calcinação do verdete que proporcionou o máximo acúmulo de K na MSPA do milho em função da mistura com os diferentes corretivos e suas respectivas eficiência

Corretivo	TC _m °C	Acúmulo na TC _m g	IEA _c ----- %	ER
CD	560	50,5	29	34
CCD	556	61,2	43	49
CalD	547	62,4	38	47
CC	479	29,4	5	11
CCC	551	33,2	7	12
CalC	542	43,6	13	20

TC_m = temperatura de calcinação que permitiu a máxima produção de MSPA para cada corretivo; IEA_c = índice de eficiência agrônômica da calcinação; ER = eficiência relativa; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Os teores de K no solo em função da aplicação do verdete calcinado e dos corretivos durante o período de incubação são baixos (Tabela 8), apesar de que foi aplicada uma dose única de 200 mg dm⁻³ de K em todos os tratamentos e que o teor inicial de K no solo, em sua condição natural, era de 9 mg dm⁻³.

Por outro lado, corroborando os resultados de solubilidade do K do verdete em função dos diversos extratores (Tabela 3) e para as variáveis de crescimento do milho, a faixa de temperatura de calcinação que proporcionou maiores teores de potássio no solo encontra-se entre 500 e 800 °C. O maior teor de potássio no solo na faixa de 500 a 800 °C também foi observado no fim do período experimental, evidenciando que o tratamento térmico proporcionou melhor efeito residual nesta faixa de temperatura de calcinação, independente do corretivo utilizado na mistura (Tabela 8).

Tabela 8 Teores de K no solo extraídos por Mehlich-1, antes da implantação do milho (AM) e após colheita do milho (PM)

Trat.	--- CD ---		-- CCD --		-- CalD --		--- CC ---		-- CCC --		-- CalC --	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
----- mg dm ⁻³ -----												
VSC	16	9	16	13	17	9	14	15	14	14	14	10
100	14	12	12	12	16	12	12	17	12	11	16	13
200	14	9	12	10	17	13	14	13	12	12	16	11
300	14	8	17	10	19	11	14	14	14	12	16	10
400	12	10	17	11	17	10	16	12	16	16	19	12
500	22	12	25	12	25	16	22	16	23	15	23	13
600	25	15	27	15	33	16	27	18	27	14	28	12
700	23	19	25	14	27	17	22	15	25	13	25	14
800	23	15	25	12	27	12	23	16	27	16	23	14
900	17	11	19	10	19	12	17	11	19	10	20	10
1000	12	9	16	8	16	18	12	10	17	12	16	14
KCl	190	19										

Potássio extraído por Mehlich-1. VSC = verdete sem calcinação; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = Cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = Cal calcítica

Apesar de os teores de potássio no solo antes da implantação do milho terem sido classificados como baixo (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999), para todos os tratamentos que receberam o verdete como fonte de potássio, foi observada uma pequena tendência de os tratamentos que receberam a mistura do verdete com cal dolomítica (CalD) apresentarem teores de potássio no solo ligeiramente superiores do que aqueles que receberam calcário dolomítico. O mesmo pode ser observado para os corretivos calcíticos, em que, nos tratamentos que receberam a mistura de verdete com a cal calcítica (CalC), os teores de potássio no solo foram ligeiramente superiores aos dos tratamentos que receberam a mistura do verdete com CC (Tabela 8). Este aumento pode ter contribuído para a maior produção de MSPA do milho nos tratamentos que receberam a cal, em relação aos que receberam o calcário na mistura com o

verdete, principalmente quando a temperatura de calcinação variou entre 500 e 800°C.

Esse pequeno aumento na disponibilidade de potássio no solo nos tratamentos que receberam a cal em relação aos que receberam o calcário na mistura com verdete pode ter ocorrido em função da concentração de Ca e Mg, que é maior na cal do que no calcário e sua liberação é praticamente espontânea. Assim, pode ter ocorrido uma maior troca de K^+ por Ca^{2+} e Mg^{2+} nos sítios ativos dos colóides, disponibilizando mais potássio na solução do solo. Esta maior disponibilidade pode ser observada tanto pelo extrator Mehlich-1 quanto para o ácido nítrico 1 mol L^{-1} (Tabelas 4 e 5).

A comparação entre os teores de potássio no solo pelo extrator Mehlich-1 e ácido nítrico 1 mol L^{-1} , antes da implantação do milho e após a colheita do milho, mostra que houve exportação de potássio do solo (Gráfico 6). A maior exportação ocorreu no tratamento adicional (KCl), em que o teor de K passou de 190 para 19 mg dm^{-3} após a colheita do milho, corroborando a proposição anterior de que a maior disponibilidade do nutriente permitiu um melhor crescimento das plantas nesse tratamento.

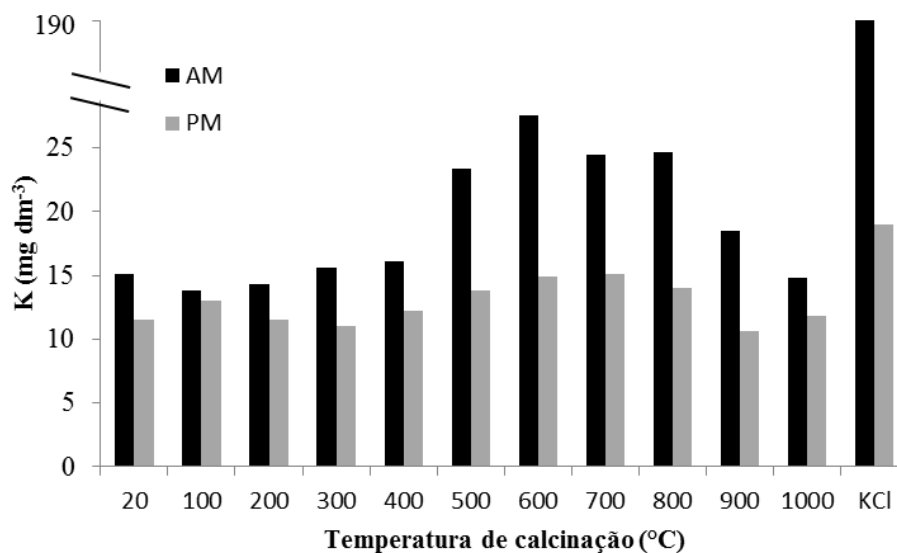


Gráfico 6 Teores de potássio no solo por Mehlich-1 em função da temperatura de calcinação do verdeete, antes da implantação do milho (AM) e após a colheita do milho (PM)

Observando-se os dados da Tabela 8 e tomando-se como base os dados referentes aos tratamentos que receberam a mistura dos corretivos com verdeete calcinado a 600 °C, verifica-se que houve diminuição, no solo, de 10 mg dm⁻³ de potássio para o tratamento que recebeu o CD, de 12 mg dm⁻³ para o CCD, de 17 mg dm⁻³ para a CalD, de 11 mg dm⁻³ para o CC, de 13 mg dm⁻³ para o CCC e de 16 mg dm⁻³ para a CalC. Isso significa que houve remoção de 30, 36, 51, 33, 39 e 48 mg de K por vaso, respectivamente, para os corretivos citados. Porém, analisando-se o acúmulo na parte aérea do milho, encontram-se os valores de 71, 87, 90, 38, 40 e 55 mg de K, respectivamente, para os mesmos corretivos, indicando que o extrator Mehlich-1 não foi sensível para estimar a real disponibilidade de K no solo, e sugerindo a necessidade de adequação de novos métodos de análise do nutriente quando se utilizam estas fontes alternativas de nutrientes.

Considerando que o solo em questão é muito intemperizado e que o K nas formas não trocáveis é muito baixo (RESENDE et al., 2007), acredita-se que ou o solo esteja retendo potássio de tal forma que o extrator Mehlich-1 não é capaz de extrair ou que a planta esteja conseguindo solubilizar o K do verdete com um poder de extração maior que o do extrator Mehlich-1.

Diante disso, foi realizada a análise de potássio no solo com ácido nítrico a 1 mol L⁻¹ (Tabela 9), por se tratar de um extrator com maior poder de extração. Por essa metodologia, o valor inicial do potássio no solo foi de 39 mg dm⁻³, enquanto que o extrator Mehlich-1 extraiu apenas 9 mg dm⁻³.

Tabela 9 Teor de K no solo pelo método do ácido nítrico 1 mol L⁻¹, antes da implantação do milho (AM) e após a colheita do milho (PM)

Trat.	--- CD ---		-- CCD --		-- CalD --		--- CC ---		-- CCC --		-- CalC --	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
VSC	47*	44	49	50	49	43	48	43	50	40	48	37
100	48	35	52	39	56	41	47	43	50	43	51	42
200	47	42	48	38	53	42	45	36	46	36	49	37
300	47	36	51	37	56	37	45	38	48	38	46	38
400	46	36	56	36	55	41	50	39	47	37	52	36
500	58	43	60	48	53	47	59	41	63	47	54	41
600	83	37	75	54	84	68	78	54	73	52	76	53
700	71	48	81	48	76	52	74	43	77	41	78	35
800	79	39	88	39	77	39	79	39	75	42	79	48
900	48	50	44	50	50	53	48	54	51	57	55	65
1000	40	68	43	55	49	53	45	59	48	71	43	81
KCl	256	136										

*Valores em mg dm⁻³. Potássio extraído por ácido nítrico a 1 mol.L⁻¹; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica; VSC = verdete sem calcinação

Como se verifica na Tabela 9, o ácido nítrico 1 mol L^{-1} também foi sensível às variações determinadas pelo efeito das temperaturas de calcinação sobre a solubilidade do verdete, tendo a faixa de temperatura entre 600 e 800 °C sido a que proporcionou maiores teores de potássio no solo por este extrator.

Foi observada uma tendência de o teor de potássio no solo por ácido nítrico 1 mol L^{-1} (AN), antes da implantação do milho, ser ligeiramente maior nos tratamentos que receberam as misturas do verdete com os corretivos CalD, CCD, CalC e CCC (Tabela 15A).

Corroborando a tendência observada na análise de potássio pelo Mehlich-1, após a colheita do milho a diferença diminuiu e os teores de potássio no solo determinados pelo AN entre os tratamentos que receberam a mistura do verdete com os corretivos dolomíticos ou calcínicos se equipararam (Tabela 15A). Por outro lado, houve interação significativa entre as temperaturas de calcinação do verdete e os corretivos utilizados nas misturas, para o teor de potássio no solo determinado pelo AN após a colheita do milho. Assim procedeu-se ao desdobramento da interação da temperatura para cada corretivo, tendo sido observado que, para todos os corretivos utilizados, houve diferença significativa nos teores de K extraídos pelo AN para as temperaturas de calcinação do verdete (Tabela 14A).

A extração de K por vaso nos tratamentos que receberam a mistura de verdete calcinado a 600°C com os corretivos CD, CCD, CalD, CC, CCC, CalC foi de 137, 65, 48, 71, 63 e 69 mg de K, respectivamente. Considerando o acúmulo de potássio na parte aérea do milho dos tratamentos que receberam os corretivos misturados com o verdete calcinado na temperatura de 600 °C, é possível concluir que o extrator ácido nítrico superestimou o teor de K extraído do solo para a maioria dos tratamentos, porém, esteve mais próximo da extração do nutriente pelas plantas de milho.

Nesse contexto, Oliveira et al. (2006), constataram que o uso do extrator Mehlich-1 não foi adequado na avaliação da disponibilidade de K num Latossolo Vermelho do estado do Paraná e num Neossolo Quartzarênico de Mato Grosso, quando adubados com a brecha. Por outro lado, Resende et al. (2006), em estudo com rochas como fonte de nutrientes, encontram que, de modo geral, o método Mehlich-1 foi o que proporcionou as melhores correlações entre o K extraído do solo e o teor e acúmulo de K nas plantas adubadas com diferentes rochas, mostrando que a correlação entre o extrator e o absorvido pela planta vai depender da natureza da rocha estudada.

4.4 Correlação entre extratores, solo e planta

A avaliação da disponibilidade de potássio (K) nas rochas e nos solos, quando se usa uma fonte de baixa solubilidade como o verdete, tem gerado resultados contraditórios, em razão de alguns métodos subestimarem ou superestimarem o real teor de K disponível para as plantas. E um agravante é o fato de não existir um limite definido entre a forma trocável e não trocável de K (MEDEIROS et al., 2010). Esses limites podem variar de acordo com o extrator utilizado para a determinação do potássio, dificultando ainda mais a sua interpretação.

Dessa maneira, a escolha do extrator depende do objetivo da pesquisa. Os de maior poder de extração fornecem indícios de uma liberação em longo prazo, enquanto os de menor poder de extração simulam a liberação em curto prazo ou o que a planta teria capacidade de extrair de forma mais imediata.

Para se definir qual extrator de potássio, tanto para a rocha quanto para o solo, é mais adequado, pode-se utilizar a correlação entre o extrator e as variáveis de produção da cultura, sendo que uma melhor correlação indica que houve melhor relação entre o teor apresentado pelo extrator e a quantidade

extraída pela planta. Para esta correlação tomou-se como padrão o calcário dolomítico (CD) (Tabela 10). Optou-se por esse corretivo devido ao fato de o calcário dolomítico ser o corretivo, em geral, economicamente mais viável e, portanto, utilizado na agricultura brasileira em larga escala.

Houve uma tendência para o K do verdete extraído pelo ácido cítrico 2% (AC) e ácido nítrico 1 mol L⁻¹ (AN) estarem melhor relacionados com o K do solo extraído pelo Mehlich-1 e pelo ácido nítrico 1 mol L⁻¹ (Tabela 10).

Os extratores USEPA 3052 e ACME não apresentaram correlação significativa com a MSPA, teor e acúmulo de K na parte aérea do milho. Este resultado certamente está relacionado ao alto poder de extração que possuem, sendo considerados como total para a ACME e semitotal para o USEPA 3052 uma vez que ele extraiu cerca de um terço do potássio extraído pela método ACME (Tabela 3). Como observado anteriormente (Gráfico 2), o potássio extraído do verdete pelos extratores USEPA 3052 e ACME foi constante, independente da temperatura de calcinação da rocha, sendo diferente do modelo quadrático observado para as variáveis MSPA, teor e acúmulo de K na parte aérea do milho, explicando, assim, a não significância da correlação dos extratores USEPA 3052 e ACME com as variáveis da planta.

O teor de potássio na parte aérea do milho não apresentou correlação com nenhum fator avaliado. Este resultado pode ser explicado pelo fato de o teor apresentar variações com o desenvolvimento da planta e, no caso do milho, por possuir um sistema radicular muito eficiente na absorção de nutrientes, a planta é capaz de absorver parte do potássio que estaria em forma indisponível para outra cultura. Teixeira et al. (2005) confirmaram a maior eficiência de absorção de nutrientes pelo milho em relação ao feijão-de-porco e guandu-anão, tendo o milho sido o que apresentou maiores teores de potássio na parte aérea. Além disto, o teor do nutriente na planta é influenciado pela sua massa seca, sofrendo forte efeito da concentração ou diluição dos nutrientes no seu tecido.

Tabela 10 Correlação entre seis extratores de K do verdete, teores de K no solo por dois extratores, teores e acúmulo de K na parte aérea e MSPA do milho

	CNA	Ác Cítrico	Ác Nítrico	3051	3052	ACME	Solo ¹	Solo ²	Teor	Acúmulo	MSPA
Água	0,82*	0,89*	0,83*	0,70**	-0,31 NS	0,14 NS	0,71**	0,78*	-0,03 NS	0,85*	0,81*
CNA		0,95*	0,90*	0,75*	-0,46 NS	0,57 NS	0,86*	0,80*	-0,21 NS	0,86*	0,87*
Ác cítrico			0,91*	0,69**	-0,32 NS	0,49 NS	0,88*	0,87*	-0,16 NS	0,90*	0,94*
Ác nítrico				0,92*	-0,37 NS	0,55 NS	0,94*	0,95*	-0,23 NS	0,83*	0,85*
3051					-0,41 NS	0,47 NS	0,82*	0,85*	-0,17 NS	0,63**	0,61**
3052						-0,46 NS	-0,25 NS	-0,20 NS	0,02 NS	-0,33 NS	-0,27 NS
ACME							0,58 NS	0,54 NS	-0,21 NS	0,31 NS	0,50 NS
Solo ¹								0,94*	-0,22 NS	0,79**	0,83*
Solo ²									-0,23 NS	0,76**	0,85*
Teor										-0,45 NS	-0,41 NS
Acúmulo											0,94*

*Significativo a 5% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; ¹Potássio extraído por Mehlich-1; ²Potássio extraído por ácido nítrico 1 mol L⁻¹

Para a MSPA e para o acúmulo de K na parte aérea do milheto, exceto pelos extratores USEPA 3052 e ACME, os demais apresentaram alta correlação positiva, tendo o ácido cítrico sido o que proporcionou melhor correlação tanto para o acúmulo de K quanto para a MSPA do milheto. Essa alta correlação do ácido cítrico com os fatores relacionados à planta pode estar relacionada à própria fisiologia das plantas. Trabalhos têm comprovado (SILVA et al., 2001) que as plantas exsudam ácido cítrico e outros ácidos orgânicos pela raiz. Esses ácidos ajudam na solubilização dos minerais presentes no solo.

Para as variáveis MSPA e acúmulo de K na parte aérea do milheto, o potássio disponível no solo (Mehlich-1 e ácido nítrico) também apresentou alta correlação positiva, indicando que, com o aumento da disponibilidade de K no solo, medido por esses extratores, há aumento na produção de matéria seca de parte aérea do milheto e no acúmulo de K.

Como comentado anteriormente, resultados de experimento em condições controladas são indicativos potenciais, porém, são necessários mais estudos com solos diferentes, com culturas diferentes e condições diferentes (em campo e casa de vegetação), para, assim, poder-se inferir com um nível maior de segurança que um extrator é mais apropriado que o outro.

5 CONCLUSÃO

A temperatura de calcinação alterou a solubilidade do potássio constituinte do verdete.

A faixa de temperatura entre 600 e 800 °C foi a que proporcionou maior liberação de potássio do verdete e, conseqüente, aproveitamento pelo milho.

A cal dolomítica foi o melhor corretivo acompanhante do verdete para as condições do solo em estudo.

O ácido cítrico se mostrou um bom extrator para determinar o potássio biodisponível do verdete para a cultura do milho.

O ácido nítrico 1 mol L⁻¹ mostrou-se mais adequado em relação ao extrator Mehlich-1 para a determinação de potássio no solo adubado com verdete.

REFERÊNCIAS

ACME ANALYTICAL LABORATORIES. **Care commitment performance**. Vancouver, 2010. 40 p.

ARAÚJO, M. S. **Estudo do uso de rocha potássica como fertilizante de liberação lenta**. 2010. 120 p. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 63-84, 2006.

BASTOS, A. R. R. et al. Métodos de extração para quantificação de manganês disponível em fertilizantes. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1616-1622, ago. 2007.

BORTOLON, L.; SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2400-2407, nov. 2009.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário mineral 2011**. Brasília, 2011. 105 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organo-minerais e corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial - CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura - BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 31 jul. 2007. Seção 1, p.11.

CARVALHO, M. A. C. **Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria, MS**. 2000. 189 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 977-982, jul./ago. 2002.

DATTA, S. C.; SASTRY, T. G. Potassium release in relation to mineralogy of silt and clays. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 41, n. 3, p. 452-458, 1993

DUTRA, L. G. **Minerais potássicos, acidificados ou não, utilizados como fontes de nutrientes para o milho (*Zea mays L.*) em casa de vegetação**. 1980. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1980.

EICHLER, V. **Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho em solos de textura média e argilosa**. 1983. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1983.

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

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

KAMINSKI, J. et al. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 5, p. 1003-1010, out. 2007.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. et al. Tecnologias de aplicação de glaucomita como fonte de potássio na agricultura: o caso brasileiro e a experiência indiana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2009, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. p. 111-119.

LEITE, P. C. **Efeito de tratamentos térmicos em misturas de Verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na mistura de potássio e fósforo**. 1985. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

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

MARRIEL, I. E. et al. Aumento do acúmulo de potássio em plantas de milho adubadas com pó de rocha e inoculadas com isolados fungos sob condições controladas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 2008. 1 CD-ROM.

MARTINS, R.; MELO, V. F.; SERRAT, B. M. Métodos de determinação da disponibilidade de potássio para a cultura do trigo em solos dos Campos Gerais, estado do Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 51, n. 298, p. 787-801, 2004.

MEDEIROS, J. S. et al. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 183-194, fev. 2010.

MELO, V. F. et al. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 165-171, maio/ago. 1995.

MENOSSO, O.G. et al. Crescimento radicular e produção de ácidos orgânicos em cultivares de soja com diferentes tolerâncias ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1339-1345, nov. 2001.

MORAES, R. N. de S. **Decomposição de palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. Potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: _____. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 305-336.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais: potássio. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 175-203.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329-335, abr./jun. 2001.

OLIVEIRA, F. A. et al. Eficiência da adubação residual com rochas brasileiras para a cultura da soja. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 231-246, 2006.

PIRES, A. M. M. et al. Ácidos orgânicos na rizosfera e fitodisponibilidade de elementos-traço originários de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 917-924, jul. 2007.

PIZA, P. A. T.; FRANÇA, S.; BERTOLINO, L. C. Caracterização mineralógica de fontes alternativas para potássio. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. p. 1-7.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo no Brasil: Contribuições do Instituto Agrônomo de Campinas**. International Plant Nutrition Institute. Piracicaba, SP, v. 132, dez. 2010, 13 p.

RESENDE, A. V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 135-161, 2006.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, H. **Comissão de fertilidade do Estado de Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 359 p.

RIBEIRO, L. S. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 3, p. 891-897, maio/jun. 2010.

ROSOLEM, C. A. G. P.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 1045-1054, set. 1993.

ROSOLEM, C. A. G. P. et al. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 875-884, set./out. 2003.

SANTOS, E. A. **Efeito da acidificação do Verdete de Abaeté na disponibilidade do potássio para o milho em casa de vegetação**. 1984. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1984.

SANTOS, F. D. et al. **Cultivo do milho**. 2. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 5, p. 1669-1677, set./out. 2011.

SILVA, F. A. M. et al. Exsudação de ácidos orgânicos em rizosfera de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 19, n. 2, p. 193-196, 2001.

SILVA, F. C. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. 627 p.

SRASRA, E.; TRABELSI-AYEDI, M. Textural properties of activated glauconite. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 71-84, July 2000.

TEIXEIRA, C. M. et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milho, feijão-de-porco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 93-99, jan./fev. 2005.

THEODORO, S. H. et al. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006.

APÊNDICES

Tabela 1A Resumo da análise de variância do teor de potássio do verde-te extraído por água, CNA e ácido cítrico

FV	GL	ÁGUA	CNA QM	ÁC. CÍTRICO
Temperatura	10	0,00079*	0,00061*	0,0187*
Erro	22	0,00001	0,000004	0,00009
Total corrigido	32			

*Significativo, pelo teste F, a 5%; $CV_{\text{ÁGUA}} = 7\%$; $CV_{\text{CNA}} = 7\%$; $CV_{\text{ÁC.CÍTRICO}} = 8\%$; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 2A Resumo da análise de variância para Parte aérea (PA) e matéria seca de raiz do milho

FV	GL	QM	
		PA	RAIZ
Temperatura	10	127,33*	31,33*
Corretivo	5	529,11*	207,62*
Temperatura*Corretivo	50	17,07*	4,27*
KCl Vs (Temp.*Corret.)	1	1377,46*	890,58*
Erro	134	0,084	0,10
Total corrigido	200		

*Significativo, pelo teste F, a 5%; $CV_{\text{PA}} = 4\%$; $CV_{\text{RAIZ}} = 8\%$; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 3A Resumo da análise do desdobramento da temperatura em cada nível de corretivo para as variáveis matéria seca de parte aérea (PA) e de raiz do milho

FV	QM	
	PA	RAIZ
Temperatura dentro de calcário dolomítico	50,168*	14,456*
Temperatura dentro de calcário calcinado dolomítico	72,691*	22,644*
Temperatura dentro de cal dolomítica	83,726*	12,876*
Temperatura dentro de calcário calcítico	1,477*	0,525*
Temperatura dentro de calcário calcinado calcítico	0,619*	0,459*
Temperatura dentro de cal calcítica	4,018*	1,719*

*Significativo pelo teste F a 5%; QM = quadrado médio

Tabela 4A Matéria seca da parte aérea e da raiz do milho, em função da temperatura de calcinação do verdete e do corretivo da mistura

PA	Parte aérea do milho (g vaso ⁻¹)						Raiz do milho (g vaso ⁻¹)					
	CD	CCD	CaD	CC	CCC	CaC	CD	CCD	CaD	CC	CCC	CaC
VSC	3,02*	4,73*	6,12*	1,83*	2,07*	2,76*	2,50*	2,50*	5,35*	1,35*	1,30*	1,40*
100	3,30*	4,91*	6,88*	2,40*	2,45*	3,20*	2,35*	2,50*	5,60*	1,35*	1,40*	1,80*
200	3,46*	5,67*	8,61*	2,58*	2,67*	4,10*	2,77*	3,10*	5,85*	1,40*	1,65*	2,15*
300	5,72*	8,52*	9,57*	2,68*	3,04*	4,36*	3,65*	3,86*	6,65*	1,40*	2,15*	2,25*
400	6,83*	10,32*	10,92*	2,73*	3,00*	4,51*	4,40*	5,35*	7,55*	1,55*	2,23*	2,65*
500	9,17*	15,15*	16,93*	2,81*	3,08*	5,44*	6,70*	6,70*	9,35*	1,65*	2,25*	3,70*
600	15,38*	20,22*	21,64*	3,48*	3,58*	6,93*	8,80*	11,15*	11,95*	1,73*	2,40*	3,80*
700	12,93*	14,18*	19,24*	2,04*	3,47*	5,05*	7,85*	8,25*	9,80*	0,90*	1,60*	2,30*
800	8,13*	12,75*	14,88*	1,68*	3,37*	4,90*	6,30*	7,50*	8,65*	0,75*	1,65*	2,20*
900	4,52*	8,53*	11,45*	1,51*	3,28*	4,15*	4,70*	4,25*	7,45*	0,71*	1,70*	2,10*
1000	4,54*	6,88*	7,34*	1,04*	2,89*	3,41*	4,25*	3,85*	6,19*	0,50*	1,40*	1,73*
KCl	28,09						21,25					

*Significativo e NS = não significativo pelo teste de Scheffè, a 5% entre o tratamento referência e os demais tratamentos; DMS Scheffè para parte aérea do milho: 2,27; DMS Scheffè raiz do milho: 2,48; VSC = verdete sem calcinação; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CaD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CaC = cal calcítica

Tabela 5A Resumo da análise de variância do teor e do acúmulo de potássio na parte aérea do milho

FV	GL	TEOR	ACÚMULO
		QM	
Temperatura	10	16,126*	3941,49*
Corretivo	5	145,718*	3202,76*
Temperatura*Corretivo	50	4,092*	118,02*
KCl Vs (Temp.*Corret.)	1	3,790*	87742,85*
Erro	134	0,2817	23,8979
Total corrigido	200		

*Significativo, pelo teste F, a 5%; $CV_{TEOR} = 9\%$; $CV_{ACÚMULO} = 14\%$; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 6A Resumo da análise do desdobramento da temperatura em cada nível de corretivo para as variáveis teor e acúmulo de K na PA do milho

FV	QM	
	Teor	Acúmulo
Temperatura dentro de calcário dolomítico	1,06*	180,00*
Temperatura dentro de calcário calcinado dolomítico	0,83*	246,09*
Temperatura dentro de cal dolomítica	0,80*	219,96*
Temperatura dentro de calcário calcítico	13,89*	48,82*
Temperatura dentro de calcário calcinado calcítico	15,35*	47,53*
Temperatura dentro de cal calcítica	4,67*	86,89*

*Significativo, pelo teste F, a 5%; FV= Fator de variação; QM = quadrado médio

Tabela 7A Resumo da análise de variância do teor e acúmulo de cálcio na parte aérea do milho

FV	GL	TEOR	ACÚMULO
		QM	
Temperatura	10	32,76*	14433,8*
Corretivo	5	348,27*	40781,5*
Temperatura*Corretivo	50	21,13*	1224,0*
KCl Vs (Temp.*Corret.)	1	211,65*	8318,4*
Erro	134	0,589	32,28
Total corrigido	200		

*Significativo, pelo teste F, a 5%; $CV_{TEOR} = 6\%$; $CV_{ACÚMULO} = 7\%$; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 8A Resumo da análise do desdobramento da temperatura em cada nível de corretivo para as variáveis teor e acúmulo de cálcio na PA do milho

FV	QM	
	Teor	Acúmulo
Temperatura dentro de calcário dolomítico	7,4*	5212,9*
Temperatura dentro de calcário calcinado dolomítico	11,3*	4299,5*
Temperatura dentro de cal dolomítica	9,3*	3620,5*
Temperatura dentro de calcário calcítico	5,9*	272,4*
Temperatura dentro de calcário calcinado calcítico	4,5*	121,6*
Temperatura dentro de cal calcítica	99,8*	7026,6*

*Significativo, pelo teste F; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 9A Teor e acúmulo de Ca na parte aérea do milho, em função da temperatura de calcinação do verdete e do corretivo da mistura

	CD	CCD	CalD	CC	CCC	CalC	CD	CCD	CalD	CC	CCC	CalC
	Teor de Ca (g Kg ⁻¹)						Acúmulo de Ca (mg)					
VSC	14,64*	15,01*	12,03*	14,45*	15,19*	16,25*	44,12*	71,04*	73,57*	26,41*	31,37*	44,86*
100	12,63*	13,24*	11,68*	11,55*	14,69*	15,70*	41,66*	64,99*	80,27*	27,72*	35,83*	50,30*
200	12,89*	11,14*	12,77*	10,56NS	14,85*	17,01*	44,59*	63,19*	109,87NS	27,23*	39,64*	69,74*
300	13,14*	11,30*	11,26*	11,29*	15,71*	16,79*	75,10*	96,15NS	107,65NS	30,30*	47,73*	73,17*
400	13,05*	12,18*	10,84*	13,33*	14,76*	23,82*	89,07NS	125,62NS	117,95NS	36,33*	44,13*	107,62NS
500	13,60*	9,85NS	9,07NS	13,18*	14,52*	28,65*	124,64NS	148,90NS	153,51NS	37,05*	44,77*	155,86NS
600	10,53NS	8,57NS	8,15NS	12,50*	14,90*	27,27*	161,95NS	173,27NS	176,28*	43,72*	53,27*	188,61*
700	9,80 NS	9,36NS	7,53NS	12,80*	13,10*	24,42*	126,74NS	132,80NS	144,96NS	25,99*	45,37*	123,42NS
800	12,10*	9,56NS	9,90NS	10,51*	12,88*	12,69*	98,35NS	121,93NS	147,27NS	17,63*	43,44*	61,97*
900	9,89NS	9,23NS	8,03NS	12,78*	12,66*	14,69*	44,73*	78,69*	91,76NS	19,29*	41,50*	61,02*
1000	11,28*	10,70*	10,63NS	9,94*	11,95*	13,24*	51,18*	73,54*	78,09*	10,20*	34,05*	45,19*
KCl	4,63						130,00					

*Significativo e NS = não significativo pelo teste de Scheffè, a 5% entre o tratamento referência e os demais tratamentos; DMS Scheffè para teor de K: 6,03; DMS Scheffè para acúmulo de K: 44,67; VSC = verdete sem calcinação; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Tabela 10A Resumo da análise de variância do teor e acúmulo de magnésio na parte aérea do milho

FV	GL	TEOR	ACÚMULO
		QM	
Temperatura	10	46,58*	25548,27*
Corretivo	5	1632,61*	252581,19*
Temperatura*Corretivo	50	14,06*	6050,46*
KCl Vs (Temp.*Corret.)	1	16,88*	19682,23*
Erro	134	0,52	109,74
Total corrigido	200		

*Significativo, pelo teste F; $CV_{TEOR} = 9\%$; $CV_{ACÚMULO} = 13\%$; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 11A Resumo da análise do desdobramento da temperatura em cada nível de corretivo para as variáveis teor e acúmulo de magnésio na PA do milho

FV	QM	
	Teor	Acúmulo
Temperatura dentro de calcário dolomítico	26,21*	9356,8*
Temperatura dentro de calcário calcinado dolomítico	50,04*	19526,8*
Temperatura dentro de cal dolomítica	39,93*	26887,5*
Temperatura dentro de calcário calcítico	0,40NS	5,3NS
Temperatura dentro de calcário calcinado calcítico	0,13NS	2,2NS
Temperatura dentro de cal calcítica	0,17NS	21,9NS

*Significativo, pelo teste F; NS: não significativo, pelo teste F; $CV_{ACÚMULO} = 13\%$; FV= Fator de variação; QM = quadrado médio

Tabela 12A Teor e acúmulo de Mg na parte aérea do milho, em função da temperatura de calcinação do verdete e do corretivo da mistura

	CD	CCD	CalD	CC	CCC	CalC	CD	CCD	CalD	CC	CCC	CalC
	Teor de Mg (g Kg ⁻¹)						Acúmulo de Mg (mg vaso ⁻¹)					
VSC	8,00NS	11,10NS	14,23*	2,27NS	1,79NS	2,33NS	24,04*	52,40*	87,01NS	4,15*	3,72*	6,41*
100	7,00NS	10,49NS	12,74*	1,46NS	2,09NS	2,40NS	23,07*	51,51*	87,55NS	3,50*	5,15*	7,70*
200	7,07NS	11,32*	15,08*	1,76NS	2,07NS	2,73NS	24,53*	64,21*	129,91NS	4,54*	5,55*	11,19*
300	9,25NS	13,63*	14,42*	1,61NS	1,53NS	2,33NS	52,87*	116,01NS	138,05NS	4,30*	4,60*	10,14*
400	6,68NS	11,11NS	17,76*	2,09NS	1,85NS	1,92NS	45,56*	114,37NS	194,52*	5,70*	5,54*	8,65*
500	13,68*	15,43*	17,44*	1,75NS	1,45NS	2,02NS	125,33NS	233,59NS	295,23*	4,93*	4,47*	10,99*
600	11,11NS	14,78*	15,53*	1,41NS	1,99NS	2,36NS	170,75NS	298,75*	335,75*	4,85*	7,10*	16,37*
700	13,13*	14,20*	15,33*	1,00NS	1,64NS	2,12NS	169,61NS	201,40NS	294,87*	2,03*	5,72*	10,68*
800	13,21*	16,52*	20,13*	1,27NS	1,67NS	2,23NS	107,38NS	210,62NS	299,36*	2,13*	5,63*	10,92*
900	13,10*	20,47*	25,13*	1,69NS	1,71NS	2,59NS	59,20*	174,45NS	289,01*	2,54*	5,59*	10,75*
1000	13,57*	23,26*	20,95*	1,92NS	1,88NS	2,10NS	61,57*	161,05NS	153,72NS	2,00*	5,44*	7,16*
Extra	5,64						158,00					

*Significativo e NS = não significativo pelo teste de Scheffê, a 5% entre o tratamento referência e os demais tratamentos; Teor de Mg: 5,68; DMS Scheffê acúmulo de Mg: 82,35; VSC = verdete sem calcinação; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Tabela 13A Resumo da análise de variância para a variável potássio no solo por ácido nítrico, antes da implantação do milho (AM) e após o corte do milho (PM)

FV	GL	QM	
		AM	PM
Temperatura	10	2310,8*	906,3*
Corretivo	5	45,9*	42,0 NS
Temperatura*Corretivo	50	26,2 NS	66,2*
KCl Vs (Temp.*Corret.)	1	1584,9*	442,5*
Erro	134	19,2	21,2
Total corrigido	200		

*Significativo e NS = não significativo pelo teste F, a 5%; $CV_{AM} = 9\%$; $CV_{PM} = 12\%$; FV= Fator de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio

Tabela 14A Resumo da análise do desdobramento da temperatura em cada corretivo para a variável potássio no solo por ácido nítrico, após o corte do milho

FV	QM
Temperatura dentro de calcário dolomítico	9,240*
Temperatura dentro de calcário calcinado dolomítico	5,332*
Temperatura dentro de cal dolomítica	8,598*
Temperatura dentro de calcário calcítico	5,916*
Temperatura dentro de calcário calcinado calcítico	10,991*
Temperatura dentro de cal calcítica	21,327*

*Significativo, pelo teste F, a 5%; FV= Fator de variação; QM = quadrado médio

Tabela 15A Teste de média para a variável teor de potássio no solo, por meio do extrator ácido nítrico antes da implantação do milho

Corretivos	Teor de K
Calcário dolomítico	46 b
Calcário calcinado dolomítico	49 a
Cal dolomítica	49 a
Calcário calcítico	46 b
Calcário calcinado calcítico	48 a
Cal calcítica	48 a

Médias de corretivos seguidas por letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Skott Knott, a 5% de probabilidade

Tabela 16A Análise química do solo após período de incubação

	Verdete	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al
			----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol dm ⁻³ -----			
CD	VSC	7,20	20,25	15,60	5,52	4,50	0,80	0,00	1,19
CCD	VSC	7,40	22,65	15,60	4,60	4,70	1,40	0,00	1,19
CaID	VSC	7,40	19,68	17,16	4,60	4,20	2,20	0,00	0,95
CC	VSC	7,30	18,58	14,04	5,52	5,10	0,20	0,00	1,19
CCC	VSC	7,40	25,98	14,04	4,60	5,50	0,20	0,00	1,07
CaIC	VSC	7,80	18,58	14,04	4,60	5,80	0,10	0,00	0,95
CD	100	7,30	16,00	14,04	6,44	3,60	0,90	0,00	1,49
CCD	100	7,40	16,49	12,48	4,60	3,50	1,40	0,00	1,07
CaID	100	7,50	11,05	15,60	4,60	4,50	1,80	0,00	0,85
CC	100	7,50	11,88	12,48	4,60	4,80	0,20	0,00	1,07
CCC	100	7,40	20,25	12,48	5,52	5,10	0,10	0,00	1,19
CaIC	100	7,50	18,04	15,60	5,52	5,60	0,10	0,00	1,07
CD	200	7,40	18,58	14,04	4,60	4,10	0,80	0,00	1,33
CCD	200	7,40	14,09	12,48	4,60	3,50	1,40	0,00	1,19
CaID	200	7,60	23,93	17,16	4,60	3,70	2,10	0,00	0,95
CC	200	7,50	13,19	14,04	4,60	4,90	0,10	0,00	1,07
CCC	200	7,50	13,19	12,48	3,68	5,40	0,10	0,00	1,07
CaIC	200	7,60	15,03	15,60	4,60	5,50	0,10	0,00	0,95
CD	300	7,30	19,12	14,04	4,60	3,80	0,90	0,00	1,49
CCD	300	7,40	19,68	17,16	4,60	3,60	1,50	0,00	1,19
CaID	300	7,60	15,03	18,72	4,60	4,10	1,80	0,00	0,85
CC	300	7,40	18,04	14,04	3,68	4,60	0,10	0,00	1,19
CCC	300	7,50	17,51	14,04	3,68	5,20	0,10	0,00	1,07
CaIC	300	7,60	15,03	15,60	3,68	5,30	0,10	0,00	1,07
CD	400	7,30	15,51	12,48	3,68	3,90	0,80	0,00	1,33
CCD	400	7,10	16,00	17,16	5,52	3,50	1,50	0,00	1,33
CaID	400	7,40	17,00	17,16	4,60	3,60	2,00	0,00	1,07
CC	400	7,30	16,49	15,60	5,52	4,60	0,10	0,00	1,33
CCC	400	7,40	15,03	15,60	4,60	4,80	0,10	0,00	1,07
CaIC	400	7,50	17,00	18,72	4,60	5,20	0,10	0,00	0,95

Tabela 16A, continuação

	Verdete	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al
			mg/dm ³			cmol/dm ³			
CD	500	7,30	17,00	21,84	5,52	3,50	0,80	0,00	1,49
CCD	500	7,40	19,12	24,96	6,44	3,50	1,40	0,00	1,19
CalD	500	7,60	17,00	24,96	4,60	3,30	2,10	0,00	1,07
CC	500	7,40	17,51	21,84	5,52	4,40	0,10	0,00	1,33
CCC	500	7,50	19,12	23,40	4,60	4,80	0,10	0,00	1,19
CalC	500	7,60	20,25	23,40	4,60	5,00	0,10	0,00	1,07
CD	600	7,20	18,04	24,96	4,60	4,00	0,80	0,00	1,33
CCD	600	7,40	20,83	26,52	4,60	3,50	1,50	0,00	1,19
CalD	600	7,50	28,96	32,76	5,52	3,60	2,20	0,00	1,07
CC	600	7,40	20,25	26,52	5,52	4,60	0,10	0,00	1,33
CCC	600	7,50	19,12	26,52	4,60	4,80	0,10	0,00	1,19
CalC	600	7,60	18,58	28,08	4,60	5,10	0,10	0,00	1,07
CD	700	7,30	22,03	23,40	5,52	3,60	0,90	0,00	1,33
CCD	700	7,40	20,25	24,96	5,52	3,50	1,60	0,00	1,19
CalD	700	7,70	18,58	26,52	4,60	3,50	2,10	0,00	0,95
CC	700	7,50	16,00	21,84	4,60	4,60	0,10	0,00	1,19
CCC	700	7,50	19,68	24,96	4,60	5,00	0,10	0,00	1,19
CalC	700	7,70	21,42	24,96	4,60	5,10	0,10	0,00	1,07
CD	800	7,40	18,58	23,40	4,60	3,70	0,90	0,00	1,33
CCD	800	7,50	12,31	24,96	4,60	3,50	1,40	0,00	1,19
CalD	800	7,60	17,51	26,52	4,60	3,20	1,90	0,00	1,07
CC	800	7,40	16,00	23,40	4,60	4,40	0,10	0,00	1,19
CCC	800	7,50	20,25	26,52	4,60	4,70	0,10	0,00	1,19
CalC	800	7,70	15,51	23,40	4,60	5,30	0,10	0,00	0,95
CD	900	7,30	13,19	17,16	4,60	3,50	0,90	0,00	1,33
CCD	900	7,50	18,58	18,72	5,52	3,40	1,50	0,00	1,19
CalD	900	7,60	18,04	18,72	4,60	3,60	2,10	0,00	1,07
CC	900	7,40	15,03	17,16	5,52	4,60	0,10	0,00	1,33
CCC	900	7,60	15,03	18,72	4,60	5,20	0,10	0,00	1,07
CalC	900	7,70	15,51	20,28	4,60	5,20	0,10	0,00	0,95

Tabela 16A, continuação

	Verdete	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al
			----- mg/dm ³ -----			----- cmol/dm ³ -----			
CD	1000	7,40	16,00	12,48	5,52	3,60	0,80	0,00	1,33
CCD	1000	7,40	17,00	15,60	6,44	3,50	1,60	0,00	1,19
CalD	1000	7,70	22,65	15,60	4,60	3,40	2,10	0,00	0,95
CC	1000	7,40	16,49	12,48	4,60	4,40	0,10	0,00	1,33
CCC	1000	7,50	17,00	17,16	4,60	5,20	0,10	0,00	1,07
CalC	1000	7,70	22,03	15,60	5,52	5,00	0,10	0,00	1,07
CD	KCl	7,30	19,12	$\frac{190,3}{2}$	4,60	3,80	0,90	0,00	1,33

VSC = verdete sem calcinação; CD = calcário dolomítico; CCD = calcário calcinado dolomítico; CalD = cal dolomítica; CC = calcário calcítico; CCC = calcário calcinado calcítico; CalC = cal calcítica

Tabela 17A Análise química do solo após período de incubação

Verdete	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
----- % -----											
VSC	57,94	15,92	6,76	2,69	0,06	0,09	11,18	0,80	0,08	0,11	0,016
100	56,93	16,92	6,91	2,92	0,12	0,08	11,11	0,79	0,03	0,06	0,015
200	57,68	16,67	6,85	2,83	0,08	0,08	11,16	0,81	0,05	0,05	0,015
300	59,59	15,94	6,31	2,69	0,11	0,09	11,06	0,82	0,08	0,06	0,013
400	59,37	16,15	6,32	2,65	0,13	0,09	11,16	0,82	0,10	0,05	0,014
500	57,68	17,01	7,00	2,87	0,03	0,08	11,19	0,80	0,03	0,05	0,015
600	58,52	17,26	7,15	2,96	0,04	0,08	11,38	0,81	0,03	0,06	0,015
700	60,99	16,38	6,38	2,72	0,17	0,09	11,19	0,84	0,11	0,06	0,013
800	59,31	17,54	7,12	2,88	0,03	0,08	11,24	0,82	0,03	0,06	0,014
900	60,59	16,42	6,67	2,75	0,08	0,10	11,33	0,85	0,06	0,06	0,014
1000	60,95	15,97	6,83	2,66	0,16	0,09	11,21	0,82	0,12	0,06	0,017

Tabela 17A, continuação

Verdete	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn
----- mg dm ⁻³ -----											
VSC	46	18	467	3	20,8	8,7	21,3	5,0	15,0	192,6	4
100	48	19	455	3	19,5	8,3	22,5	4,6	14,1	211,2	4
200	48	18	448	3	18,0	8,2	22,5	4,5	14,4	207,1	4
300	39	17	444	3	16,0	7,6	22,5	4,8	14,7	197,5	4
400	41	17	442	3	14,9	7,3	21,8	4,4	14,9	203,6	4
500	48	19	462	3	20,6	8,7	22,6	4,8	13,9	209,9	4
600	47	19	466	3	19,9	8,6	23,1	5,0	14,8	218,3	4
700	41	17	434	2	15,3	7,4	21,8	4,6	15,0	207,1	4
800	47	19	465	3	20,4	8,9	23,4	4,7	15,0	215,5	4
900	45	18	465	3	15,2	7,8	23,6	4,8	16,0	209,9	4
1000	57	17	461	3	19,0	7,6	22,0	5,2	16,0	201,6	4

Tabela 17A, continuação

Verdete	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr
----- mg dm ⁻³ -----											
VSC	23,0	1,2	12,0	1,7	464	2,0	173,6	26,0	34,9	92,8	8,40
100	16,9	1,2	11,5	1,7	1057	2,0	166,5	25,1	36,6	88,7	8,29
200	17,1	1,2	11,9	1,8	910	1,8	165,0	25,9	37,7	91,9	8,46
300	16,4	1,1	10,8	1,7	470	1,8	160,6	24,9	33,4	70,6	7,73
400	17,3	1,2	10,4	1,7	592	2,3	163,1	25,2	31,1	65,0	7,24
500	16,8	1,2	12,8	1,7	1130	2,0	171,3	26,0	40,4	104,8	9,01
600	15,4	1,1	12,2	1,7	832	2,3	170,6	25,9	38,1	95,6	8,63
700	18,1	1,2	11,3	1,8	652	1,9	164,3	26,0	33,1	69,0	7,57
800	17,8	1,1	12,8	1,7	852	1,9	171,8	26,0	41,4	108,0	9,26
900	17,1	1,3	11,2	1,7	350	1,9	167,6	24,8	33,5	69,3	7,60
1000	19,8	1,2	11,3	1,8	258	2,1	176,8	27,3	34,0	72,1	7,95

Tabela 17A, continuação

Verdete	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	----- mg dm ⁻³ -----										
VSC	31,4	5,51	1,14	4,76	0,77	4,40	0,89	2,56	0,39	2,53	0,40
100	30,8	5,07	1,00	4,02	0,62	3,64	0,75	2,31	0,38	2,51	0,39
200	30,9	5,12	1,04	4,09	0,64	3,90	0,79	2,52	0,39	2,53	0,39
300	28,4	5,15	1,02	4,29	0,70	3,96	0,81	2,40	0,37	2,48	0,37
400	27,0	4,83	0,98	4,16	0,71	3,82	0,80	2,52	0,39	2,47	0,39
500	31,9	5,24	1,00	4,11	0,63	3,74	0,76	2,48	0,39	2,57	0,41
600	30,0	5,15	1,00	3,95	0,63	3,63	0,79	2,46	0,40	2,54	0,41
700	28,9	5,00	1,00	4,34	0,73	3,94	0,85	2,50	0,39	2,53	0,40
800	34,0	5,42	1,02	4,15	0,65	3,78	0,79	2,44	0,39	2,51	0,41
900	28,3	4,79	0,93	4,04	0,64	3,78	0,78	2,43	0,38	2,54	0,39
1000	29,7	5,38	1,10	4,82	0,79	4,52	0,90	2,58	0,40	2,61	0,41

Tabela 17A, continuação

	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX
	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
Verdete	----- mg dm ⁻³ -----													
VSC	<0,1	19,5	10,4	21	8,9	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	1,7	<0,01	<0,1	<0,5
100	<0,1	18,6	3,2	17	6,9	<0,5	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
200	<0,1	19,4	2,9	17	6,7	<0,5	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,7	<0,01	<0,1	<0,5
300	<0,1	19,9	4,1	19	7,9	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	1,0	<0,01	<0,1	<0,5
400	<0,1	18,0	3,2	20	8,3	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	1,3	<0,01	<0,1	<0,5
500	<0,1	19,4	3,4	25	9,1	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
600	<0,1	7,5	3,1	30	11,1	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,5	<0,01	0,1	<0,5
700	<0,1	12,6	3,5	39	20,4	0,8	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	1,3	<0,01	0,1	<0,5
800	<0,1	23,2	4,2	53	33,6	0,9	<0,1	0,1	0,2	<0,1	<0,5	0,01	0,2	<0,5
900	0,2	9,7	3,0	15	12,7	<0,5	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,7	<0,01	<0,1	<0,5
1000	0,5	4,2	0,5	6	14,8	<0,5	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	8,0	<0,01	<0,1	<0,5