

---

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

---

**JULIANA APARECIDA BRAGA**

**Fonte alternativa de K obtida da produção de  
KCl a partir da rocha silicática potássica  
(verdete) na cultura de milho**



Rio Claro  
2015

Juliana Aparecida Braga

**Fonte alternativa de K obtida da produção de KCl a partir da rocha silicática potássica (verdete) na cultura de milho**

Orientador: Dr.<sup>a</sup> Lucia Pittol Firme

Co-orientador: Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Rio Claro, para obtenção do grau de Licenciada e Bacharela em Ciências Biológicas.

Rio Claro  
2015

581.13 Braga, Juliana Aparecida  
B813f Fonte alternativa de K obtida da produção de KCl a partir da rocha silicática potássica (verdete) na cultura de milho / Juliana Aparecida Braga. - Rio Claro, 2015  
45 f. : il., gráfs.

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura e bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientadora: Lucia Pittol Firme  
Coorientador: Victor José Mendes Cardoso

1. Plantas - Nutrição. 2. Resíduo. 3. Beneficiamento. 4. Termopotássio. 5. Agricultura. I. Título.

## **Agradecimentos**

Agradeço....

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo desse trajeto não somente nestes anos como universitária, mas que é responsável por todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Alécio Braga e Olinda Candido Braga, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À orientadora Lucia Pittol Firme, pela paciência durante o período de orientação, pelo apoio, incentivo e empenho dedicado à elaboração deste trabalho, que tornaram possível a conclusão desta monografia.

Ao professor Victor Cardoso, pela co-orientação e pelo apoio.

A todos os funcionários da Biblioteca, pelo excelente trabalho realizado durante todo o meu período de graduação.

A todos, que direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada!

“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo.”

Paulo Freire

## RESUMO

Para produzir o termopotássio e, até mesmo, o KCl, a rocha silicática potássica (verdete) passa pelo processo de calcinação. Neste processo é gerado um resíduo denominado coproduto que contém em sua composição química 3% a 4% de  $K_2O$ , Ca, Mg e Si e apresenta baixa solubilidade em água. O presente trabalho objetivou testar a hipótese de que doses de  $K_2O$  na forma de coproduto fornecem potássio para as plantas de milho em menor quantidade do que as mesmas doses na forma de KCl, inclusive no estudo do efeito residual, e que o potássio extraído do solo pela resina trocadora de íons tem maior correlação com as quantidades de potássio absorvida pela planta de milho do que com o potássio extraído pela solução extratora de Mehlich-1. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, onde foram realizados dois cultivos consecutivos de milho em amostras de Neossolo Quartizarênico órtico. O delineamento foi em blocos casualizados com duas fontes de K (KCl e coproduto), três doses de  $K_2O$  (0, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Foram determinados os teores de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora de Mehlich-1 e resina trocadora de íons, a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho, os teores e o acúmulo de potássio nas plantas após o primeiro e o segundo cultivo. Em dois cultivos consecutivos das plantas de milho, a aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  na forma de KCl proporcionou o acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de 77 e 84% maior do que aplicação dessas mesmas doses de  $K_2O$  na forma de coproduto, respectivamente. A aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  na forma de coproduto proporcionou aumentos no acúmulo de potássio da parte aérea das plantas de milho de 66 e 75% em relação ao controle (sem  $K_2O$ ), respectivamente. A recuperação de potássio pelas plantas de milho tratadas com KCl foi de 92% e as plantas tratadas com coproduto recuperaram apenas 13% do potássio. Após o primeiro e segundo cultivo das plantas de milho, a maior correlação entre o potássio extraído da amostra de solo e o potássio extraído pela planta foi obtida utilizando o método de resina trocadora de íons. Conclui-se que a aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  na forma de coproduto fornece potássio para as plantas de milho em menor quantidade do que a aplicação das mesmas doses de  $K_2O$  na forma de KCl após o primeiro cultivo e quantidades semelhantes após o segundo cultivo, devido o efeito residual do coproduto, e que em amostra de Neossolo Quartizarênico órtico tratadas com coproduto, a extração de potássio com resina trocadora de íons apresenta maior correlação com a quantidade de potássio extraída pela planta.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1. Fontes alternativas de potássio para a agricultura .....	8
2.2. Potássio no solo .....	11
2.3. Extratores de potássio do solo .....	12
2.4. Cultura de milho e adubação .....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
3.1. Coleta e caracterização do solo .....	16
3.2. Caracterização química das fontes de potássio .....	17
3.3. Preparação do solo .....	18
3.4. Condução do experimento: primeiro e segundo cultivo de milho .....	19
3.5. Análise da amostra de solo .....	21
3.6. Análises da parte aérea do milho .....	22
3.7. Análise estatística .....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. Teor de potássio na amostra de solo .....	24
4.2. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho .....	28
4.3. Teor de potássio na parte aérea das plantas de milho .....	32
4.4. Acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de milho .....	34
4.5. Eficiência dos extratores de potássio do solo .....	38
5. CONCLUSÃO.....	39
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	40

## 1. INTRODUÇÃO

A produção total de milho foi estimada, para o ano de 2015, em 75,9 milhões de toneladas e área plantada em 15,2 milhões de hectares (IBGE, 2015). Um dos fatores que contribuem para a elevada produção de milho é a adubação com fertilizantes.

O potássio (K) é considerado, depois do nitrogênio, o macronutriente requerido em maior quantidade pelas principais culturas agrícolas, como: milho, soja, e outras (HSIAO; LAUCHLI, 1986; BOARETTO et al., 2009).

A produção brasileira de fertilizantes potássicos supre apenas 13% do consumo interno, ou seja, para atender a demanda de potássio pela agricultura brasileira, faz-se necessário a importação de 87% do fertilizante potássico como, o cloreto de potássio (KCl) com cerca de 60% de  $K_2O$  (DNPM, 2014).

A alta dependência da importação do KCl pela agricultura brasileira está estimulando o setor mineral brasileiro a investir em pesquisas, para encontrar fontes alternativas de K e, assim, reduzir a dependência da agricultura brasileira pelo mercado externo deste fertilizante (IBRAM, 2013). Atualmente, a rocha silicática potássica, conhecida como verdete e encontrada na região do Alto do Paranaíba-MG, está sendo estudada como fonte alternativa de K (VIEIRA, 2012; FRIEDERICH et al., 2013; DUARTE et al, 2013).

Estudos mostram que, o termopotássio com 7 a 8% de  $K_2O$ , obtido a partir do beneficiamento do verdete, pode complementar a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, pois fornecem o potássio, além de cálcio, magnésio e silício (PIZA et al., 2011; FURTINI, 2012; DUARTE, 2012; FRIEDERICH et al., 2013). Os nutrientes cálcio e magnésio podem proporcionar a correção química do solo eliminando os efeitos tóxicos do alumínio, manganês e ferro (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1981; VITTI et al., 2008). Além disso, o termopotássio apresenta baixa solubilidade em água quando comparados ao KCl, o que pode reduzir as perdas de potássio no perfil do solo (DUARTE et al., 2013) e proporcionar uma lenta liberação do potássio ao solo ao longo do tempo (DUARTE, 2012).

Dessa forma, o termopotássio pode ser uma promissora fonte alternativa de potássio para a agricultura brasileira. Contudo, no processo de calcinação da rocha silicática potássica, para produzir o termopotássio e o KCl, é gerado um resíduo denominado coproduto, que contém em sua composição química 3% a 4% de  $K_2O$ , além de cálcio, magnésio e silício, e apresenta baixa solubilidade em água.

A presença de potássio, cálcio, magnésio e silício na composição química do coproduto podem tornar-se atraentes para a destinação final deste resíduo em solos agrícolas.



No entanto, são escassos os estudos sobre o potencial do coproduto em fornecer estes nutrientes, principalmente, o potássio, para a cultura de milho, que é uma das principais culturas brasileiras e apresenta elevada exigência por este nutriente. Assim como, os estudos sobre a correlação do potássio extraído do solo, que recebeu o coproduto, pela solução extratora Mehlich-1 e a resina trocadora de íons utilizados em laboratórios de análise de solos, com as quantidades absorvidas pelas plantas.

O conhecimento sobre a dinâmica do potássio no solo agrícola que recebeu o coproduto é de fundamental importância, pois oferece informações referentes ao efeito deste resíduo em disponibilizar o potássio para a produção das plantas. Além disso, por apresentar baixa solubilidade em água, também são relevantes as informações referentes ao efeito residual do coproduto sobre a produção da planta, sendo utilizado o fertilizante KCl como fonte de potássio padrão de comparação.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou testar a hipótese de que doses de  $K_2O$  na forma de coproduto fornecem potássio para as plantas de milho em menor quantidade do que na forma de KCl, inclusive no estudo do efeito residual, e que o potássio extraído do solo pela resina trocadora de íons tem maior correlação com as quantidades de potássio absorvida pela planta de milho do que com o potássio extraído pela solução extratora de Mehlich-1.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Fontes alternativas de potássio para a agricultura

Os principais fertilizantes minerais potássicos utilizados na agricultura são o cloreto de potássio (KCl), o sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), o sulfato duplo de potássio e magnésio ( $K_2SO_4.MgSO_4$ ) e nitrato de potássio ( $KNO_3$ ). O fertilizante potássico mais produzido no mundo é o KCl, pois possui alta concentração de  $K_2O$ , cerca de 58 a 62%, e baixo custo de produção por unidade de potássio (DNPM, 2014). Contudo, o fertilizante KCl apresenta elevado índice salino, ou seja, superior ao índice salino de 100 do nitrato de sódio (KORNDORFER, 2006). Portanto, o excesso de fertilizante KCl no solo pode causar toxicidade as plantas e as semente, devido o alto índice salino ocasionar o aumento da pressão osmótica. Nesse sentido, a aplicação do fertilizante KCl em solo agrícola deve ser realizada de forma parcelada e em culturas tolerantes a salinização.

Em 2013, o Brasil foi responsável por 0,9% da produção mundial de fertilizante potássico, ficando em décimo primeiro lugar no ranking mundial, e o Canadá foi líder, com 30% da produção (DNPM, 2014). Em virtude da pequena produção brasileira de fertilizante potássico, que supre apenas 13% do consumo interno, o Brasil situa-se no contexto mundial como grande importador de fertilizante potássico na forma de KCl.

Para diminuir a dependência da agricultura brasileira pelo mercado exterior do fertilizante KCl, o setor mineral brasileiro tem investido em pesquisas a fim de encontrar fontes alternativas de K.

Diferentes materiais rochosos estão sendo estudados como fonte alternativa de K, além das rochas sedimentares evaporitos, o feldspato potássico é uma dos materiais que estão sendo estudados como fonte de potássio (NASCIMENTO et al., 2008). O feldspato potássico, possui em sua composição minerais silicáticos muito comuns na natureza e com cerca de 17% de  $K_2O$ , sendo uma fonte potencial para a produção de KCl e termopotássio. Também tem sido utilizada a aplicação direta ao solo da rocha moída para o fornecimento de potássio, prática conhecida como rochagem (FRIEDERICH et al., 2013).

Na região do Alto do Paranaíba-MG, foi encontrada a rocha silicática potássica denominada de verdete, por possuir coloração verde. A mineralogia desta rocha é composta por 13% de quartzo, 29% de feldspato potássico, 57% de mica, representada por 9% de moscovita e 49% de biotita, e 1% de outros minerais (KAHN et al., 2011).

Os minerais potássicos presentes no verdete apresentam baixa solubilidade em água, o

que torna necessário o beneficiamento da rocha para a liberação do potássio (ORIOLI JUNIOR; COUTINHO, 2009; SILVA et al., 2012). A rocha é triturada e misturada com carbonato de cálcio e, posteriormente, calcinada a 1100°C, originando o termopotássio, com 7% a 8% de K<sub>2</sub>O e, até mesmo, o KCl, com 58% a 60% de K<sub>2</sub>O (PIZA et al., 2011; SILVA et al., 2012).

O termopotássio pode complementar a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, pois, além do K, podem fornecer Ca, Mg e Si. Duarte (2012) observou que 60 dias após a aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl, termopotássio e verdete em solo arenoso e argiloso os valores de K, Ca, Mg e Si, assim como, do pH, foram maiores no tratamento que recebeu o termopotássio do que nos tratamentos com KCl e o verdete. As concentrações de Ca e Mg no solo que recebeu o termopotássio também proporcionaram a correção química do solo. Os efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe no solo são corrigidos pela reação de troca com os íons Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> na superfície das partículas de argila do solo (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1981; VITTI et al., 2008).

Furtini (2012) demonstrou que, aos 180 dias após o plantio de copo-de-leite em solo acrescido de esterco e tratado com 420 mg dm<sup>-3</sup> de potássio na forma de termopotássio granulado, termopotássio farelado fino e KCl, o fornecimento de K para as plantas foi superior nos tratamentos que receberam termopotássio granulado e termopotássio farelado fino do que no tratamento com KCl. Segundo o autor, os ácidos orgânicos liberados no processo de degradação da matéria orgânica do esterco, podem ter atacado a superfície do termopotássio e solubilizado uma fração deste material, o que permitiu o fornecimento de potássio para a planta.

A baixa solubilidade do termopotássio em água pode reduzir as perdas de potássio no perfil do solo em comparação ao KCl. A aplicação de 3000 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (dose escolhida por refletir as práticas de campo, como, por exemplo, a adubação no fundo do sulco de plantio da cana-de-açúcar, onde se concentra o adubo, em até 15 vezes quando aplicado 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), na forma de termopotássio granulado, termopotássio farelado e KCl em colunas de lixiviação preenchidas com solo arenoso e argiloso, demonstrou que a quantidade de potássio lixiviado foi maior no tratamento que recebeu KCl do que nos tratamentos com termopotássio (DUARTE et al., 2013).

Dessa forma, a baixa solubilidade do termopotássio em água pode proporcionar uma lenta liberação do potássio ao solo ao longo do tempo, ou seja, o termopotássio pode apresentar efeito residual. O efeito da dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de termopotássio sobre o acúmulo de potássio na parte aérea do milho obtido no segundo cultivo foi superior

aos tratamentos com  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na forma de KCl e verdete (DUARTE, 2012). Este resultado indicou que o potássio presente no termopotássio pode ser librado ao longo do tempo.

Os estudos mencionados anteriormente indicam que o termopotássio pode ser uma promissora fonte alternativa de potássio para a agricultura brasileira. Contudo, no processo de calcinação da rocha silicática potássica, para produzir o termopotássio e o KCl, é gerado um resíduo denominado coproduto, que contém em sua composição química 3% a 4% de  $\text{K}_2\text{O}$ , além de, Ca, Mg e Si, e apresenta baixa solubilidade em água.

A presença de K, Ca, Mg e Si na composição química do coproduto pode ser atraente para a destinação final deste resíduo em solos agrícolas. Dessa forma, são necessários estudos sobre o potencial agrônomo deste resíduo como fonte alternativa de K para as principais culturas brasileiras, em comparação com a fonte mineral KCl.

## 2.2. Potássio no solo

O potássio encontra-se no solo nas formas solúvel, trocável e não trocável. O elemento na forma trocável está ligado às cargas negativas da superfície orgânica e inorgânica do solo e na forma não trocável está retido na estrutura dos minerais primários e, ou, secundários, tais como feldspatos e micas. O potássio solúvel encontra-se na solução do solo.

De modo geral, os solos apresentam altas concentrações de potássio, mas somente 2% da concentração total está na forma trocável, ou seja, prontamente disponível para as plantas (NASCIMENTO et al., 2008). A disponibilidade do potássio para as plantas depende do equilíbrio entre as formas trocável e não trocável na solução do solo. Este equilíbrio é mantido quando o potássio ligado à fase sólida do solo é liberado para a solução do solo após a retirada de uma fração do potássio solúvel presente nesta mesma solução. Portanto, a capacidade do solo em suprir potássio para as plantas varia em função das formas do elemento na solução do solo, além da quantidade em que este elemento se encontra no solo.

O desenvolvimento de variedades de plantas mais produtivas e técnicas culturais mais adequadas intensificaram o uso do solo e a retirada dos nutrientes pelas colheitas, principalmente, do potássio, por ser um dos nutrientes mais exigidos pelas plantas depois do nitrogênio. Nesse sentido, desde a década de 80, as pesquisas têm se preocupado com a importância da adubação potássica na agricultura brasileira (MIELNICZUK, 1981; MALAVOLTA, 1981; TÁVORA 1982).

A reposição de potássio no solo pela aplicação de fertilizantes como, o KCl, de forma inadequada pode causar a perda de potássio pela lixiviação do íon  $K^+$  no perfil do solo, principalmente, nos solos com baixa CTC (SANGOI et al., 2003; WERLE et. al, 2008).

Além disso, o excesso do fertilizante KCl no solo pode causar toxicidade às plantas devido ao elevado índice salino deste produto. Dessa forma, torna-se relevante o estudo sobre o potencial agrônomo de fontes alternativas de potássio que forneçam este nutriente de forma eficiente para as plantas e com o mínimo de perdas.

### 2.3. Extratores de potássio do solo

A avaliação da disponibilidade de potássio no solo depende da natureza de ação do extrator. No Brasil, o Mehlich-1 e a resina de troca iônica são os extratores de K trocável utilizados nos laboratórios de rotina de análises químicas de solos (SILVA et al., 1998; RAIJ et al., 2001; SILVA et al., 2009).

A solução extratora Mehlich-1 contém  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  de ácido clorídrico (HCl) e  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e capaz de extrair o potássio trocável e não trocável do solo, o que pode superestimar a disponibilidade do nutriente no solo (SILVA et al., 2009).

A extração de potássio do solo por resina de troca iônica saturada com bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) ocorre por gradiente de concentração, ou seja, o íon  $\text{Na}^+$  é liberado na solução do solo e o íon  $\text{K}^+$  ocupa o sítio de adsorção aniônica da resina para manter o equilíbrio químico (RAIJ et al., 2001). Portanto, o método da resina trocadora de íons para extração de potássio do solo é o que melhor representa a absorção de potássio pelo sistema radicular das plantas, pois permite a avaliação da forma de potássio prontamente disponível para as plantas, o potássio trocável.

Ressalta-se que o potássio trocável não é a única fonte de potássio para as plantas e que é necessário avaliar a contribuição de outras formas desse elemento para a nutrição das culturas, como é o caso do potássio presente nos minerais potássicos (CASTILHOS; MEIRER, 2002; RAIJ, 2011).

No experimento em vasos, foi aplicado  $200$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na forma de KCl, termopotássio e verdete no solo argiloso e arenoso e avaliado o teor de potássio extraído do solo com solução extratora de Mehlich-1 e resina trocadora de íons, após 60 dias a aplicação das fontes de potássio ao solo. Duarte (2012) observou que o teor de potássio extraído em ambos os solos tratados com termopotássio foi maior quando utilizou a solução extratora de Mehlich-1 do que a resina trocadora de íons, ou seja, a solução extratora de Mehlich-1 extraiu o potássio na forma trocável e não trocável.

Duarte (2012) também observou que a extração de potássio em solo argiloso e arenoso tratado com termopotássio pela solução extratora de Mehlich-1 e resina trocadora de íons foi maior do que no tratamento com verdete. Este resultado indica que o termopotássio pode liberar potássio para o solo em curto tempo e que o beneficiamento do verdete (rocha silicática potássica) para a produção do termopotássio é necessário para tornar mais eficiente a liberação de potássio do material de origem.

O inconveniente da solução extratora de Mehlich-1 solubilizar materiais naturais no solo como, rochas fosfatadas e silicáticas potássicas, é que a análise de solo pode fornecer resultados elevados de fósforo ou potássio, mesmo em condições de deficiência destes elementos no solo (RAIJ, 2001).

O uso de métodos biológicos, com a utilização de plantas, é uma alternativa para avaliar a existência de correlação do nutriente extraído do solo pelo extrator com as quantidades absorvidas pelas plantas e para comparação de procedimentos de extração de nutrientes do solo (VALE, 1997; FELIX, 2005; MELLIS, 2006; GOMES et al., 2012). Testes do tipo Neubauer são simples, rápidos e eficientes para se determinar a disponibilidade de potássio para as plantas (CATANI; NETO, 1949; JORGE; GARGANTINI, 1963).

Neubaruer e Schneir (1923), citados por Catani e Neto (1949), foram os primeiros pesquisadores a desenvolver a técnica de Neubauer e a interpretar os dados obtidos pela mesma. O método de Neubauer se baseia na ideia de que um grande número de plântulas crescendo num volume pequeno de terra absorverá toda a quantidade de nutriente disponível em um pequeno espaço de tempo (JORGE; GARGANTINI, 1963). Esta técnica oferece uma forma barata de se relacionar os teores disponíveis de nutrientes com a absorção dos mesmos e medidas de crescimento de plantas, em comparação com as condições de campo.

## 2.4. Cultura de milho e adubação

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie anual, do grupo das plantas C-4 e com ampla adaptação a diferentes condições de ambiente. A cultura de milho requer temperatura elevada, próxima de 24°C a 30 °C, e adequada disponibilidade hídrica no solo, para alcançar o potencial máximo produtivo.

Os grãos de milho são utilizados como matéria prima nas indústrias de rações, nas indústrias de alimentos, e entre outros. Além disso, a silagem de milho é utilizada como alimento volumoso para os rebanhos de bovinos, principalmente, no período da seca, quando as pastagens naturais tornam-se precárias (AGEITEC, 2010).

Dessa forma, os produtores de milho investem em tecnologia e áreas de cultivo com o objetivo de aumentar o rendimento da produção de grãos ou silagem para atender a demanda por estes produtos.

A terceira estimativa de 2015, realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), totalizou 199,7 milhões de toneladas para a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas, sendo a estimativa da área a ser colhida de 57,3 milhões de hectares. O arroz, o milho e a soja são os três principais produtos deste grupo, que somados representaram 91,6% da estimativa da produção e responderam por 85,5% da área a ser colhida. Segundo o IBGE (2015), a produção total de milho foi estimada em 75,9 milhões de toneladas e a área plantada em 15,2 milhões de hectares.

Um dos fatores que contribuem para a elevada produção de milho é a adubação com fertilizantes. A produção de milho responde positivamente à correção da acidez do solo e à aplicação de nutrientes pela adubação. O aumento da produção está diretamente correlacionado com as exigências de nitrogênio e potássio, e depois de cálcio, magnésio e fósforo (COELHO; FRANÇA, 1995; RITCHIE et al., 2003).

As necessidades nutricionais das plantas são determinadas pela quantidade de nutrientes que a mesma extrai durante o ciclo de desenvolvimento. Portanto, a extração total dos nutrientes pela planta de milho dependerá do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, tanto na produção de grãos quanto na silagem de milho, é necessário disponibilizar para a planta a quantidade total de nutrientes extraída, que devem ser adicionadas ao solo pela adubação (COELHO; FRANÇA, 1995).

Para a produção de 4 a 10 t ha<sup>-1</sup> de grãos são necessários a aplicação de 100 a 189 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 77 a 217 kg ha<sup>-1</sup> de N, para a produção de 12 a 19 t ha<sup>-1</sup> de silagem são necessários 83 a 312 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 115 a 231 kg ha<sup>-1</sup> de N (COELHO; FRANÇA, 1995).



Dessa forma, o potássio, após o N, é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas de milho. O potássio possui importantes funções fisiológicas que influenciam diretamente no desenvolvimento da planta, como: prevenção de doenças, aumento da resistência e, ao contrário dos outros nutrientes, permanece na planta na forma livre para regular a ativação enzimática, fotossíntese, a eficiência do uso da água, amido e formação da síntese proteica (WU et al., 1991; WYN, 1999; FAQUIN, 2005; MALAVOLTA et al., 2006).

O acúmulo de nutrientes na planta de milho ocorre no primeiro momento na fase de desenvolvimento vegetativo e no segundo momento na fase reprodutiva ou de formação das espigas (ANDRADE et al., 1975; BÜLL, 1993; RITCHIE et al. 2003).

Para o potássio, a máxima absorção pela planta de milho ocorre na fase de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento da planta. Nesta fase, a taxa de absorção de potássio pela planta de milho é superior à taxa de absorção de nitrogênio e fósforo, ou seja, a necessidade de potássio é maior na fase inicial de desenvolvimento da planta. Para o nitrogênio e o fósforo, a máxima absorção ocorre durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas de milho (OLNESS; BENOIT, 1992; RITCHIE et al. 2003). As menores taxas de absorção destes nutrientes ocorrem no período entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga. Portanto, o manejo adequado dos fertilizantes e o conhecimento da demanda de nutrientes durante o ciclo da cultura aumentam a eficiência da adubação e diminuem as perdas dos nutrientes, principalmente, o potássio, em função de sua mobilidade nos diferentes tipos de solo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento, instalado em casa de vegetação do Laboratório de Nutrição de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, baseou-se no princípio do método de Neubauer (CATANI; NETO, 1949), onde um grande número de plântulas (100 sementes) crescendo em um volume pequeno de terra (100g de solo + 300g de areia lavada) absorvem toda a quantidade de nutriente disponível em um pequeno espaço de tempo (18 dias). Nesse sentido, o presente experimento consistiu no cultivo de 10 plantas de milho em 5 dm<sup>3</sup> de solo arenoso de baixa fertilidade acrescido das fontes de K na forma de KCl e coproduto. A colheita da parte aérea foi realizada aos 40 dias após a semeadura, quando visualmente foi diagnosticada a deficiência de K nas plantas de milho como sintomas de clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas seguidas por secamento, necrose (COELHO; FRANÇA, 1995). Dessa forma, o cultivo de milho no período de 40 dias após a semeadura foi suficiente para que as plantas absorvessem todo o potássio disponível nos tratamentos.

#### 3.1. Coleta e caracterização do solo

O solo, localizado no município de Santa Maria-SP, foi amostrado na camada de 0-20 cm de profundidade e levado ao laboratório. A amostra de solo foi seca ao ar, destorroada, retirados os restos de raízes manualmente, passada em peneira de 4 mm de abertura de malha, e homogeneizada.

Para a caracterização física do solo, pelo método do densímetro (CAMARGO et al., 1986), e a caracterização química, para fins de fertilidade, de acordo com o método descrito em RAIJ et al. (2001), foi retirada uma subamostra de 300g do solo coletado e passada em peneira de 2 mm.

O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico órtico, com textura arenosa (81% de areia, 17% de argila e 16% de silte). As características químicas da amostra de solo foram as seguintes: pH em CaCl<sub>2</sub> = 4,5; C<sub>orgânico</sub> = 1 g dm<sup>-3</sup>; P-resina = 3,0 mg dm<sup>-3</sup>; K, Ca, Mg, H+Al, SB e CTC = 0,3; 4,5; 1,5; 20; 6,3 e 26 mmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente; e V = 24%.

### 3.2. Caracterização química das fontes de potássio

Uma amostra de 20 g do fertilizante KCl e do coproduto foram levadas ao laboratório para determinação do K<sub>2</sub>O total (EPA, 1996), Si total (KORNDORFER et al., 2004) e CaO total e MgO total, de acordo com o descrito em Embrapa (1999). A caracterização química do fertilizante KCl e do coproduto encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química das fontes de potássio na forma de KCl e coproduto.

Fonte	K <sub>2</sub> O Total	Si Total	CaO Total	MgO Total
	-----%-----			
KCl	60	-	-	-
Coproduto	3,68	25,29	9,62	2,96

### 3.3. Preparação do solo

A mistura  $\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ , com PRNT = 104,7%, na proporção 3:1, foi adicionada a amostra de solo para elevar a saturação por bases a 70%, conforme recomendação para cultura de milho (RAIJ; CANTARELA, 1997).

Após a adição da mistura  $\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ , a amostra de solo foi homogeneizada, umedecida a 60% da capacidade de campo e incubada por 30 dias. Uma subamostra de 100 g do solo foi coletada após a incubação, a mesma foi seca ao ar e passada em peneira de 2mm para a determinação de K, Ca, Mg e pH (RAIJ et al., 2001). A análise química da amostra de terra após a calagem apresentou pH em  $\text{CaCl}_2 = 6,8$ ; K, Ca, Mg, H+Al, SB e CTC = 0,3; 13,3; 4,1; 1,4; 26,7 e 37,6  $\text{mmolc dm}^{-3}$ , respectivamente; e V = 71%.

Em seguida, adicionou-se a amostra de solo os nutrientes N, P, S, B, Mn, Zn, Cu, Mo e Fe, por meio de solução nutritiva, nas concentrações de ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): 224; 62; 32; 0,27; 0,11; 0,131; 0,032; 0,05 e 1,12 (JOHNSON et al., 1957). A amostra de solo foi homogeneizada, umedecida a 60% da capacidade de campo e incubada por 15 dias.

### 3.4. Condução do experimento: primeiro e segundo cultivo de milho

Foram realizados dois cultivos de milho consecutivos com o objetivo de avaliar o efeito residual das fontes de potássio. Para ambos os cultivos as unidades experimentais foram constituídas de vasos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup> acrescidos da amostra de solo que recebeu calagem e solução nutritiva. O delineamento foi em blocos casualizados com duas fontes de K (KCl e coproduto), três doses de K<sub>2</sub>O (0, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

As fontes de potássio foram adicionadas a amostra de solo apenas no primeiro cultivo. A quantidade de cada fonte de potássio foi calculada com base nos teores totais de K<sub>2</sub>O (Tabela 2), sendo o KCl utilizado como fonte padrão para a comparação com o coproduto.

Tabela 2. Tratamentos experimentais aplicados em amostras de solo classificado como Neossolo Quartzarênico órtico, acondicionados em vasos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup>, e as quantidades de K<sub>2</sub>O e das fontes de potássio aplicadas em cada tratamento.

Tratamentos	Dose de K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O total	Dose da Fonte	
	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	g/5 kg solo
Controle	0	0	0	0
KCl	200	60	333	0,83
KCl	400	60	667	1,67
Controle	0	0	0	0
Coproduto	200	3,68	5435	13,59
Coproduto	400	3,68	10870	27,17

A amostra de solo, após a adição das fontes de potássio, foi homogeneizada e umedecida a 60% da capacidade de campo. Em seguida, foram semeadas 20 sementes viáveis de milho BR 206 a 2 cm de profundidade da terra e mantida a umidade a 60% da capacidade de campo de cada vaso. Após a germinação das sementes, foi realizado o desbaste, deixando 10 plantas por vaso. A colheita da parte aérea das plantas (folhas e caule) foi realizada após 40 dias a semeadura. Após a colheita retirou-se uma amostra de 40g da terra de cada vaso.

No primeiro cultivo, o restante da terra contida em cada vaso foi seca ao ar, removida as raízes, passadas em peneira de 2mm e acondicionadas novamente nos respectivos vasos, para a instalação do segundo cultivo. Neste último, não foram reaplicadas as fontes de potássio a

amostra de solo, apenas foi adicionado os outros nutrientes por solução nutritiva nas mesmas quantidades do primeiro cultivo.

### **3.5. Análise da amostra de solo**

No primeiro e segundo cultivo do milho, as 40 g de terra coleta de cada vaso foi seca ao ar, passada em peneira de 2mm, armazenadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para a determinação do teor de potássio extraído pela solução extratora de Mehlich-1 (SILVA et al., 2009) e resina traçadora de íons (RAIJ et al. 2001).

### 3.6. Análises da parte aérea do milho

No primeiro e segundo cultivo do milho, a parte aérea da planta que foi colhida em cada vaso foi armazenada em sacos de papel e levada ao laboratório, onde foi seca em estufa a 60°C, até atingir peso constante, para a determinação do peso seco. Em seguida, o material vegetal seco foi moído em moinho com peneira de 20 mesh e armazenado no laboratório em sacos de papel, para a determinação do teor de potássio na parte aérea do milho (MALAVOLTA et al., 1997). A quantidade de potássio acumulada na parte aérea do milho foi obtida pelo produto dos resultados de produção da matéria seca e da concentração de potássio na parte aérea do milho.

Também foram determinados o índice de eficiência agrônômica (IEA) e o percentual de potássio recuperado ( $K_{\text{recuperado}}$ ) pelas seguintes equações:

$$\text{IEA (\%)} = \frac{\text{MSPA}_{\text{coproduto}} - \text{MSPA}_{\text{controle}}}{\text{MSPA}_{\text{KCl}} - \text{MSPA}_{\text{controle}}} \times 100.$$

$$K_{\text{recuperado}} (\%) = \frac{K_{\text{acumulado}_{\text{coproduto}} - K_{\text{acumulado}_{\text{controle}}}}{\text{dose de } K_2O \text{ aplicada}} \times 100$$

Para o cálculo do IEA foi utilizada a soma do valor médio da matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas de milho obtido após o primeiro e segundo cultivo e para o cálculo do percentual do  $K_{\text{recuperado}}$  foi utilizada a soma do valor médio do acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de milho obtido no primeiro e segundo cultivo.



### **3.7. Análise estatística**

Os resultados obtidos serão submetidos a análise de variância e, em caso de efeito significativo a  $p < 0,001$ , de acordo com o teste F para tratamentos, será realizada a análise de comparação de médias entre as doses de  $K_2O$  na forma de KCl e coproduto pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) com auxílio do programa SAS (2008).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

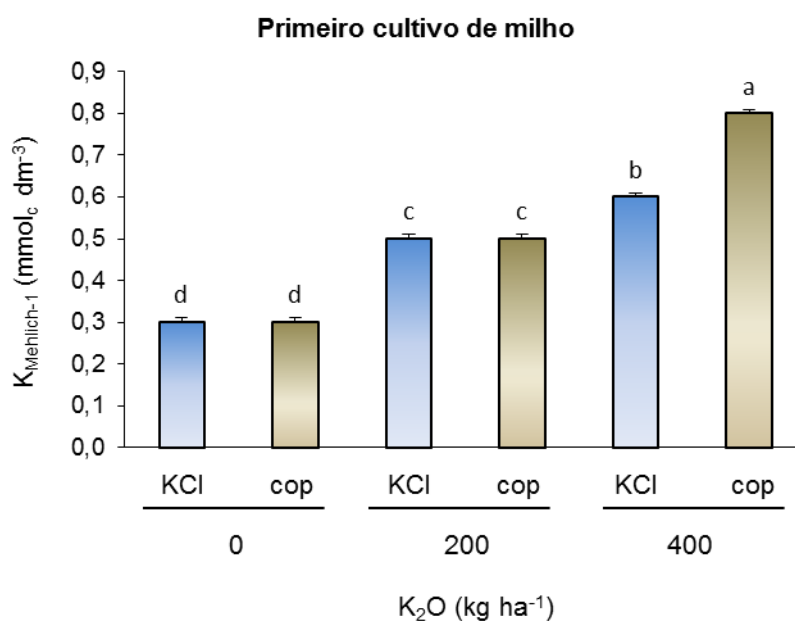
### 4.1. Teor de potássio na amostra de solo

Os valores médios do teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora de Mehlich-1, após o primeiro e segundo cultivo da planta de milho, foram apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

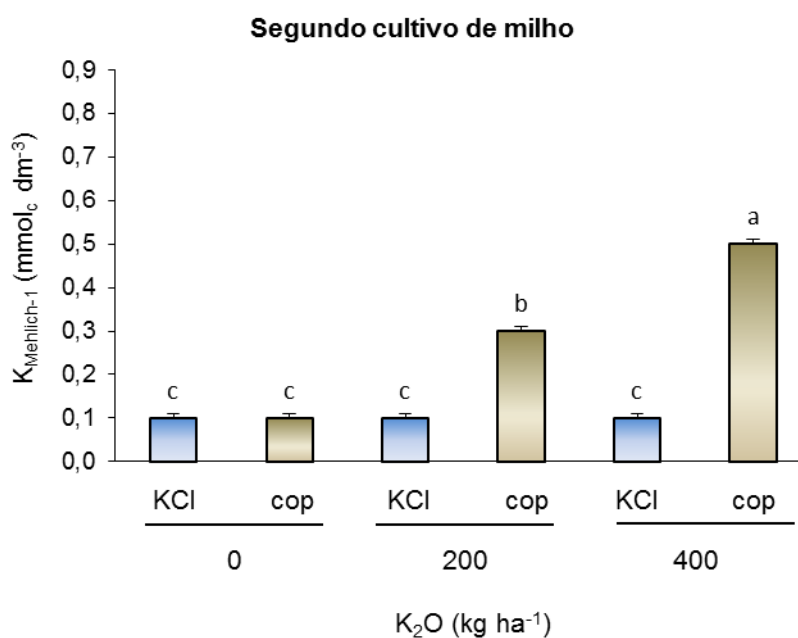
Na Figura 1, observou-se que o teor de potássio extraído da amostra de solo com solução extratora de Mehlich-1 foi menor no tratamento controle (sem  $K_2O$ ) em comparação com os demais tratamentos estudados, após o primeiro cultivo da planta de milho. Também, observou-se que o teor de potássio extraído da amostra de solo foi maior no tratamento que recebeu  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  na forma de coproduto em comparação ao tratamento com  $200$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  na forma de  $KCl$ . Além disso, o teor de potássio extraído da amostra de solo foi semelhante entre os tratamentos com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  na forma de  $KCl$  e coproduto, e estes foram inferiores ao tratamento com  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  na forma de  $KCl$ .

Após o segundo cultivo da planta de milho, observou-se que o teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora Mehlich-1 foi maior nos tratamentos que receberam  $200$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  na forma de coproduto em comparação com os demais tratamentos estudados (Figura 2). O teor de potássio obtido na amostra de solo do tratamento com  $200$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  na forma de  $KCl$  foi semelhante ao controle.

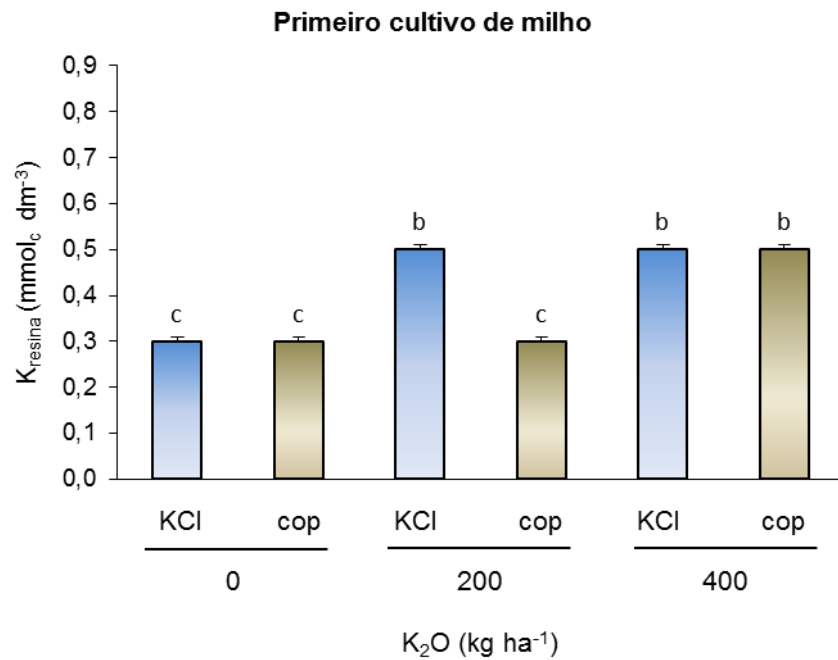
O teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora Mehlich-1 após o primeiro e segundo cultivo das plantas de milho foram maiores nos tratamentos com coproduto do que com  $KCl$  e o controle. Este resultado indica o efeito residual das formas de potássio, principalmente, a não trocável, na amostra de solo que recebeu o coproduto, devido este resíduo apresentar baixa solubilidade em água.



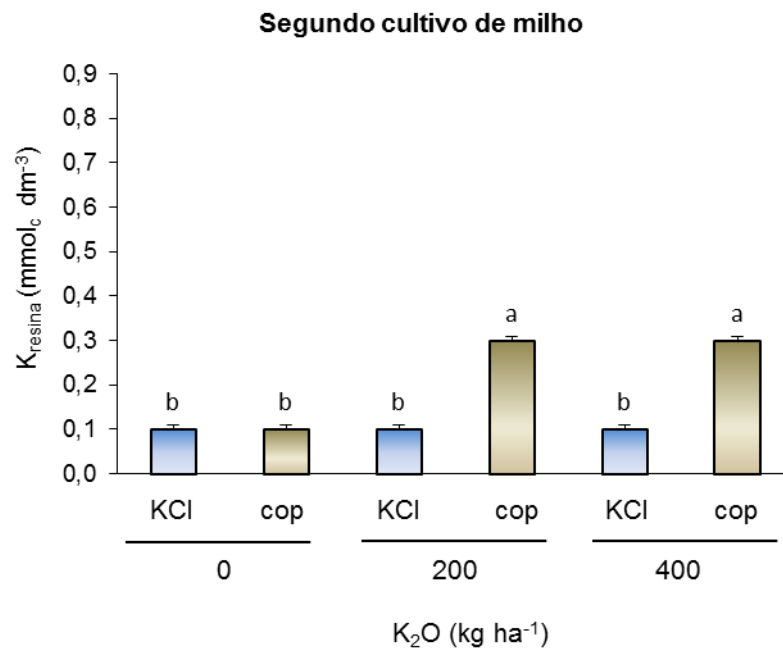
**Figura 1.** Valor médio do teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora Mehlich-1 ( $K_{Mehlich-1}$ ) em função das doses de  $K_2O$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicadas na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro cultivo de milho. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 2.** Valor médio do teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora Mehlich-1 ( $K_{Mehlich-1}$ ) em função das doses de  $K_2O$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicadas na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o segundo cultivo de milho. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 3.** Valor médio do teor de potássio extraído da amostra de solo por resina trocadora de íons ( $K_{resina}$ ) em função das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicadas na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro cultivo de milho. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 4.** Valor médio do teor de potássio extraído da amostra de solo por resina trocadora de íons ( $K_{resina}$ ) em função das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicadas na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o segundo cultivo de milho. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

Os valores médios do teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina trocadora de íons, após o primeiro e segundo cultivo da planta de milho, foram apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Na Figura 3, observou-se que o teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina trocadora de íons foi semelhante entre os tratamentos com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl e o tratamento com 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto, sendo estes superiores aos tratamentos controle (sem K<sub>2</sub>O) e ao tratamento com 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto, após o primeiro cultivo das plantas de milho.

Após o segundo cultivo das plantas de milho, observou-se que o teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina trocadora de íons foi maior nos tratamentos que receberam 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto em comparação com os demais tratamentos estudados (Figura 4). Além disso, o teor de potássio obtido na amostra de solo do tratamento com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl foi semelhante ao controle. Nos tratamentos com KCl foi obtido o maior teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina extratora de íons, este resultado deve-se a elevada solubilidade do KCl em água.

Os valores médios do teor de potássio extraído das amostras de solo pela resina trocadora de íons após o segundo cultivo das plantas de milho, indicam que o potássio adicionado a amostra de solo na forma de KCl foi absorvido quase que totalmente pelo sistema radicular das plantas após o primeiro e segundo cultivo, pois o teor de potássio foi semelhante ao tratamento controle que apresentou 0,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K na amostra de solo (Figura 4).

Nos tratamentos com coproduto, observou-se efeito residual da forma trocável de potássio na amostra de solo após o primeiro e segundo cultivo das plantas de milho (Figura 4), assim como foi observado para o teor de potássio na forma trocável e não trocável extraída pela solução extratora de Mehlich-1. No entanto, o efeito residual do coproduto em disponibilizar o potássio na forma trocável na amostra de solo indica que, a absorção de potássio pelo sistema radicular das plantas de milho foi menos eficiente em comparação aos tratamentos com KCl, devido a baixa solubilidade do resíduo em água. Este resultado concorda com os dados apresentados por Duarte (2012) no estudo sobre o efeito do verde-te em disponibilizar potássio para as plantas de milho.

#### 4.2. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho

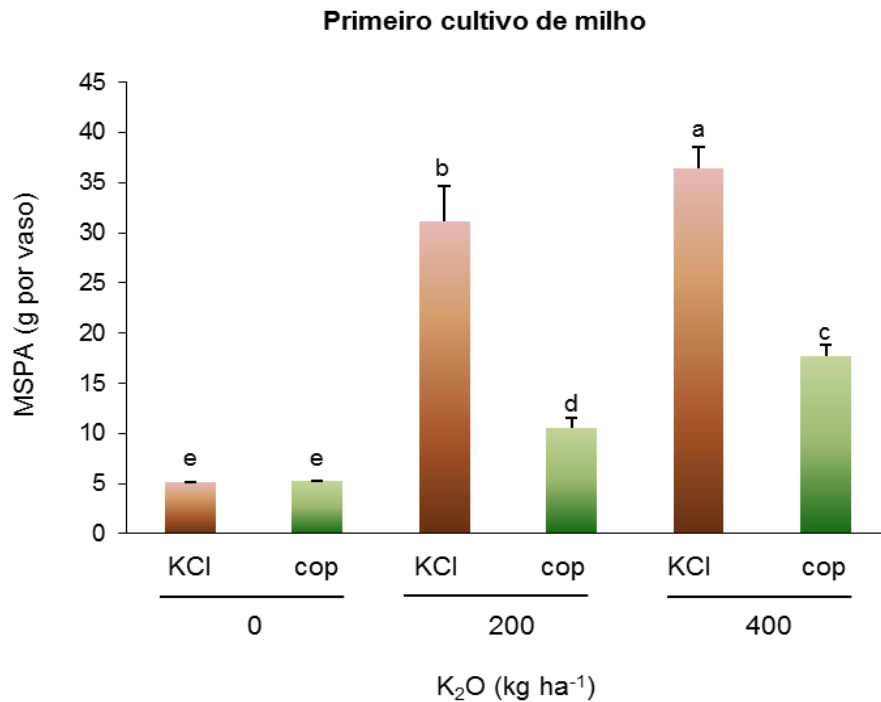
Os valores médios da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho após o primeiro e segundo cultivo são apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Após o primeiro cultivo das plantas de milho, a maior produção de matéria seca da parte aérea das plantas foi obtida no tratamento com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl em comparação com os demais tratamentos estudados (Figura 5). A aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl proporcionou uma produção de matéria seca, aproximadamente, três e duas vezes superior a produção de matéria seca obtida no tratamento com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto, respectivamente. Contudo, a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho obtida no tratamento com coproduto foi, aproximadamente, duas e três vezes superior ao tratamento controle (sem K<sub>2</sub>O), respectivamente. Este resultado indica que o coproduto forneceu potássio para as plantas mesmo em quantidades inferiores ao KCl.

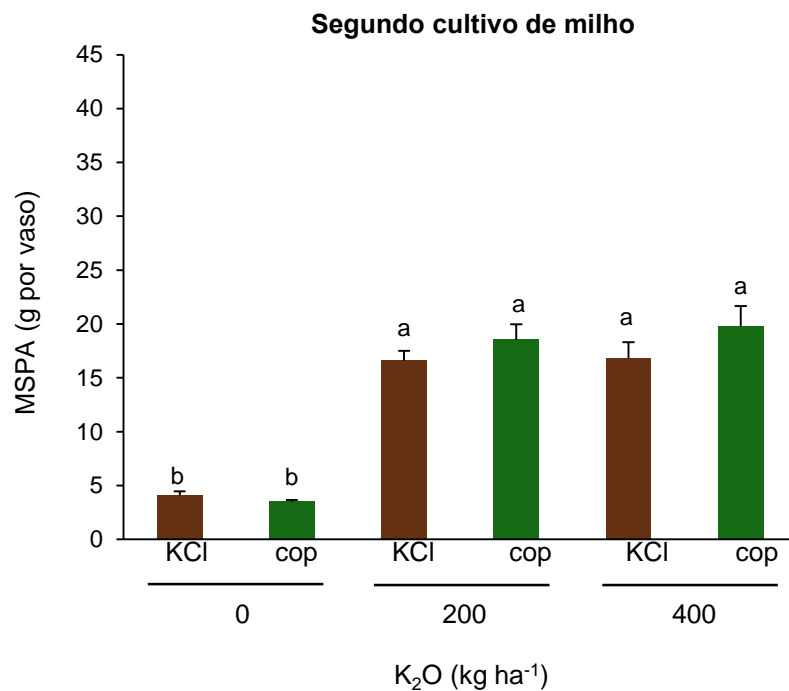
Após o segundo cultivo das plantas de milho, a produção de matéria seca da parte aérea das plantas foi semelhante entre os tratamentos com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl e coproduto, sendo a produção de matéria seca destes tratamentos superior ao tratamento controle (Figura 6). O efeito residual do coproduto manteve a produção de matéria seca da parte aérea, aproximadamente, três vezes maior do que o tratamento controle.

A somatória do valor médio da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho obtido no primeiro e segundo cultivo seguiu a seguinte ordem dos tratamentos: KCl > coproduto > controle (Figura 7). A aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl foi 39 e 30% superior a somatória dos valores médios da produção de matéria seca obtida no tratamento com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto, respectivamente. Contudo, a aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto foi 70 e 77% superior à somatória dos valores médios da produção de matéria seca encontrada no tratamento controle.

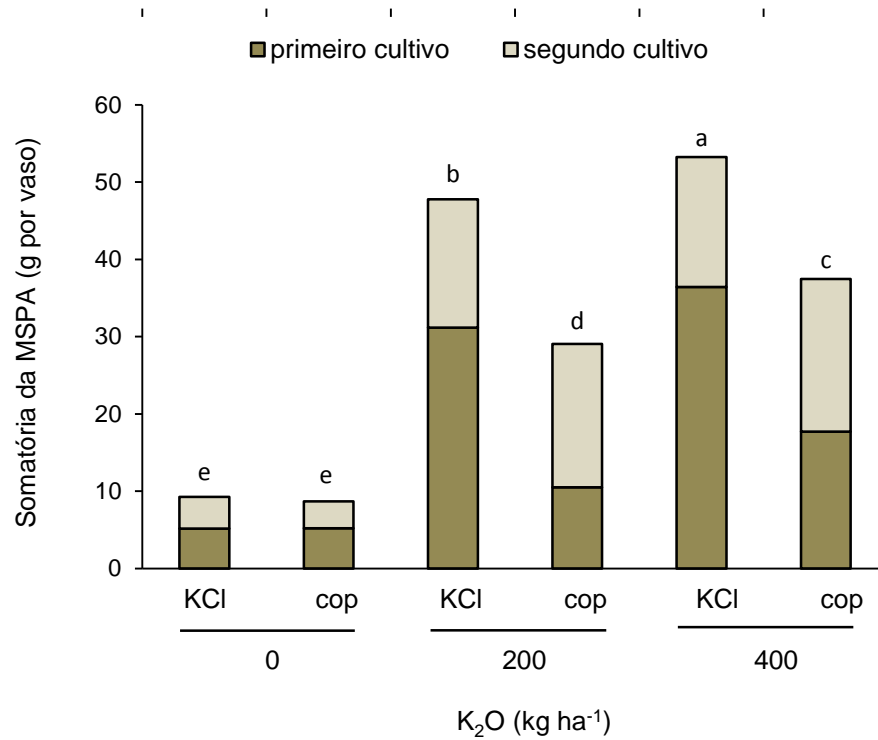
A maior somatória do valor médio da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho cultivadas com coproduto foi de, aproximadamente, 35 g por vaso. Este resultado concorda com os dados obtidos por Eichler e Lopes (1983). Estes autores cultivaram milho em amostras de um Latossolo de textura média e após dois cultivos consecutivos, no primeiro cultivo colheram o milho aos 50 dias e no segundo cultivo colheram aos 30 dias após a semeadura, obtiveram a somatória dos valores da produção de matéria seca de 34 g por vaso no tratamento que recebeu verdete de Abaeté calcinado a 1100°C.



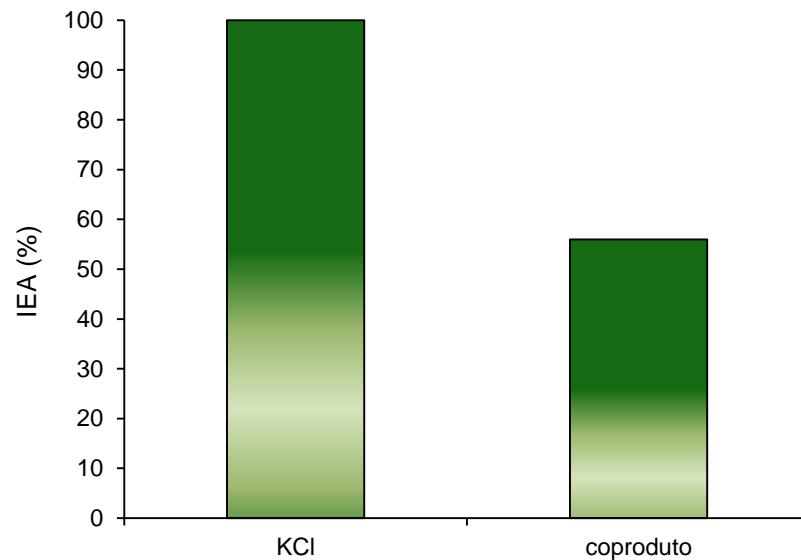
**Figura 5.** Valor médio da matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (g por vaso) em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) adicionadas a amostra de Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 6.** Valor médio da matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (g por vaso) em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) adicionadas a amostra de Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o segundo cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 7.** Somatória do valor médio da matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (g por vaso) em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) adicionadas a amostra de Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro e segundo cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 8.** Índice de eficiência agrônômica das fontes de K<sub>2</sub>O na forma de KCl e coproduto. O índice de eficiência agrônômica foi calculado com base na soma dos valores médios da matéria seca da parte aérea das plantas de milho após o primeiro e segundo cultivo em amostras de Neossolo Quartzarênico órtico.



O índice de eficiência agronômica, calculado com base na soma dos valores médios da matéria seca da parte aérea das plantas de milho após o primeiro e segundo cultivo, mostrou que a fonte de  $K_2O$  na forma de coproduto foi apenas 56% eficiente em relação a 100% da eficiência do KCl de fornecer potássio para as plantas de milho (Figura 8). Duarte (2012) obteve índice de eficiência agronômica de 86% para o termopotássio e 11% para o verdete em relação a eficiência de 100% do KCl.

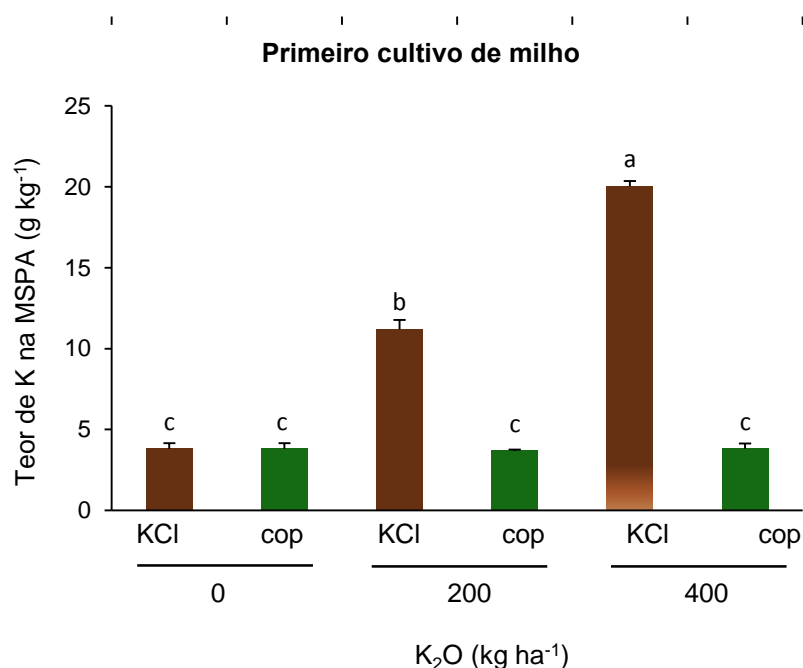
### 4.3. Teor de potássio na parte aérea das plantas de milho

Os valores médios do teor de potássio na parte aérea das plantas de milho obtidos após o primeiro e o segundo cultivo foram apresentados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

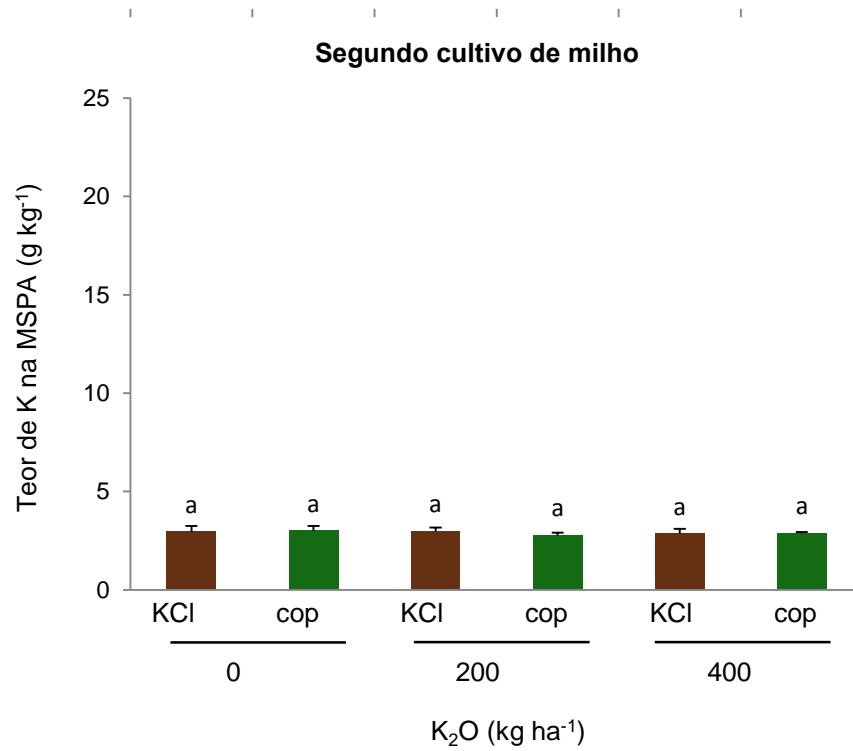
Na Figura 9, observou-se que o teor de potássio na parte aérea da planta de milho foi maior nos tratamentos que receberam 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl em comparação aos demais tratamentos estudados, após o primeiro cultivo. Verificou-se também que o teor de potássio na parte aérea das plantas de milho foi semelhante entre os tratamentos com coproduto e o controle.

Após o segundo cultivo das plantas de milho, o teor de potássio na parte aérea da planta foi semelhante entre os tratamentos com KCl, coproduto e controle (Figura 10).

Ressalta-se que, a ausência da diferença entre as médias dos valores do teor de potássio obtida nos tratamentos com coproduto e o tratamento controle, pode ser devido ao efeito diluição do teor de potássio na planta em função do crescimento da mesma. Dessa forma, a diferença entre esses tratamentos após o primeiro e segundo cultivo foi verificada nos resultados de acumulo de potássio na parte aérea das plantas de milho.



**Figura 9.** Valor médio do teor de K na matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (g kg<sup>-1</sup>) em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) adicionadas ao Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 10.** Valor médio do teor de K na matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em função das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) adicionadas ao Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

#### 4.4. Acumulo de potássio na parte aérea das plantas de milho

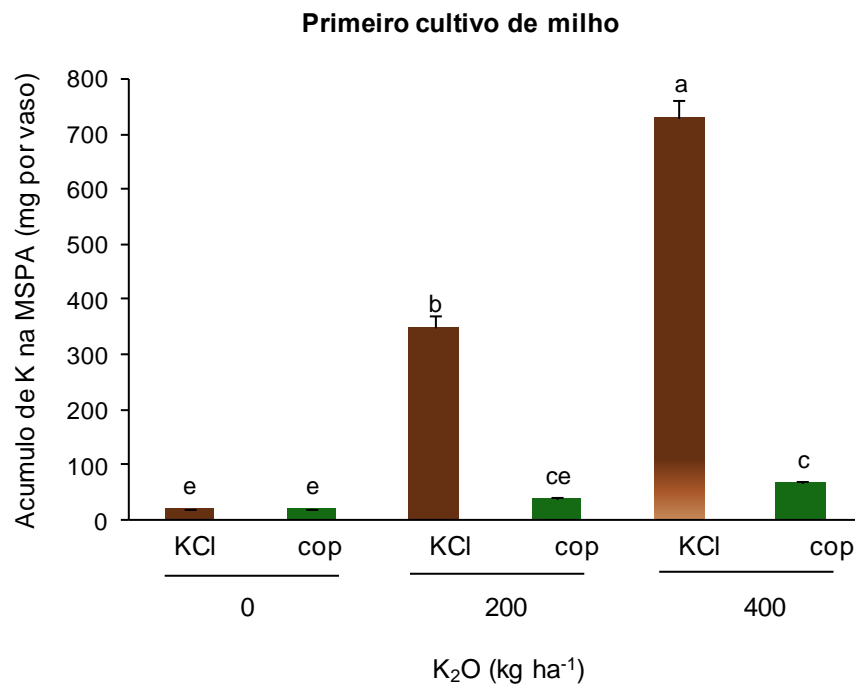
Os valores médios do acumulo de potássio na parte aérea das plantas de milho obtidos após o primeiro e o segundo cultivo foram apresentados nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

Na Figura 11, observou-se que o acumulo de potássio na parte aérea da planta de milho foi menor no tratamento controle em comparação com os demais tratamentos estudados, após o primeiro cultivo. Verificou-se também que o acumulo de potássio na parte aérea das plantas foi maior nos tratamentos que receberam 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl em comparação aos demais tratamentos estudados. O acumulo de potássio na parte aérea da planta nos tratamentos que receberam 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl foi 88 e 90% superior ao acumulo de potássio na parte aérea da planta obtido nos tratamentos com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto, respectivamente. Contudo, os valores médios do acumulo de potássio na parte aérea das plantas de milho foi diferente entre os tratamentos com coproduto e o controle. O acumulo de potássio na parte aérea da planta de milho no tratamento com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto foi, respectivamente, 49 e 70 % superior ao acumulo de potássio na parte aérea da planta obtido no tratamento controle.

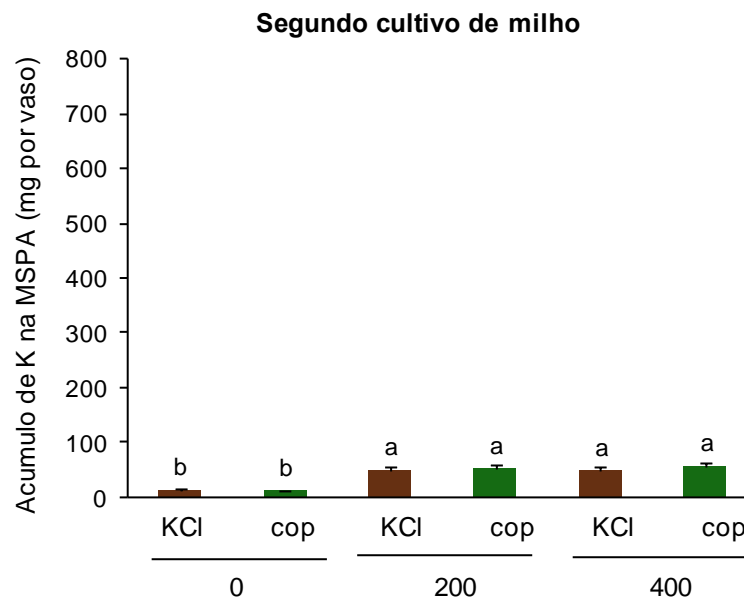
Após o segundo cultivo das plantas de milho, o acumulo de potássio na parte aérea da planta foi semelhante entre os tratamentos com KCl e coproduto, sendo este resultado superior ao acumulo de potássio na parte aérea das plantas obtido no tratamento controle (Figura 12). O acumulo de potássio na parte aérea das plantas nos tratamentos com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl e coproduto foi, aproximadamente, 81% superior ao acumulo de potássio na parte aérea das plantas no tratamento controle.

Os resultados mencionados anteriormente indicam que os tratamentos com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O de coproduto forneceram potássio para as plantas de milho após o primeiro e o segundo cultivo, em curto espaço de tempo.

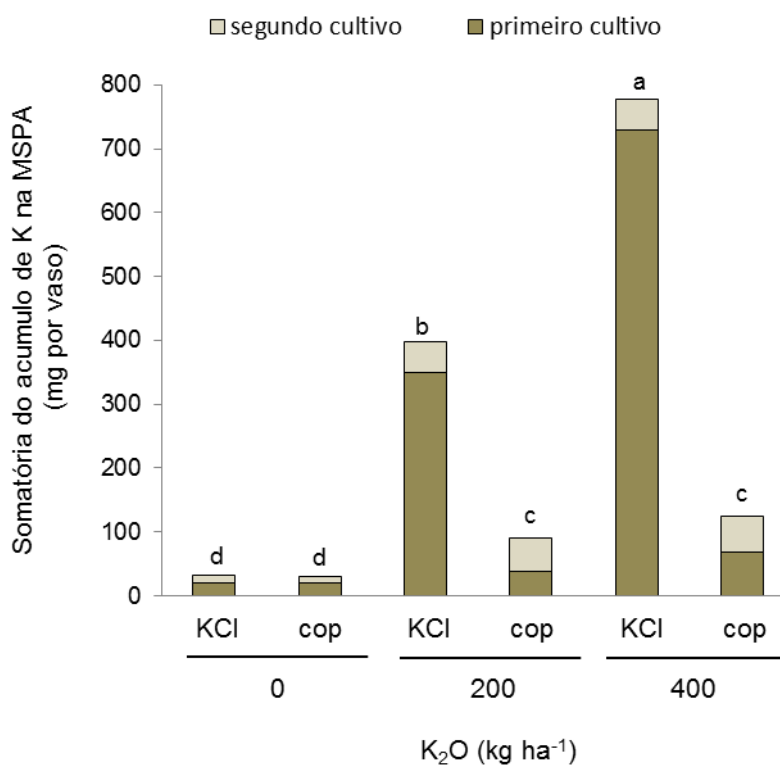
A somatória do valor médio do acumulo de potássio na parte aérea das plantas de milho obtido no primeiro e segundo cultivo seguiu a seguinte ordem dos tratamentos: KCl > coproduto > controle (Figura 13), assim como foi observado nos resultados da somatória dos valores médios da produção de matéria seca da parte aérea das plantas obtidos após o primeiro e segundo cultivo.



**Figura 11.** Valor médio do acúmulo de potássio (K) na matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (mg por vaso) em função das doses de  $K_2O$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) adicionadas ao Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



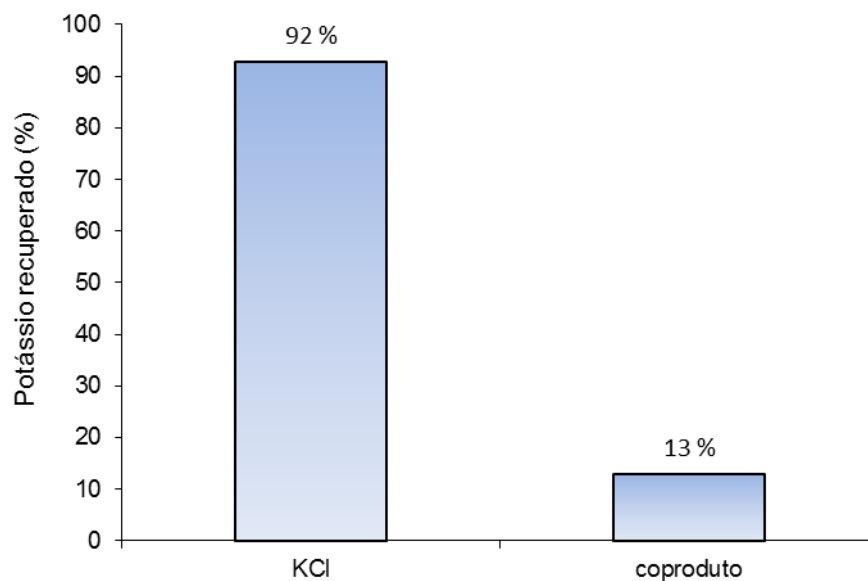
**Figura 12.** Valor médio do acúmulo de K na matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (mg por vaso) em função das doses de  $K_2O$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) adicionadas ao Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o segundo cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.



**Figura 13.** Somatória do valor médio do acúmulo de K na matéria seca da parte aérea (MSPA) da planta de milho (mg por vaso) em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) adicionadas ao Neossolo Quartzarênico órtico na forma de cloreto de potássio (KCl) e coproduto (cop), após 40 dias o primeiro e segundo cultivo. Médias com letras iguais não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

A aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl foi 77 e 84% superior a somatória dos valores médios do acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de milho obtida no tratamento com 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto, respectivamente. Contudo, a aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto foi 66 e 75% superior à somatória dos valores médios do acúmulo de potássio na parte aérea das plantas encontrada no tratamento controle.

O percentual de potássio recuperado pela parte aérea das plantas de milho, calculado com base na soma dos valores médios do acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de milho obtidos após o primeiro e segundo cultivo, foi maior quando utilizou o KCl do que o coproduto (Figura 14). A recuperação de potássio pelas plantas de milho tratadas com KCl foi de 92% e as plantas tratadas com coproduto recuperam apenas 13% do potássio. Duarte (2012) encontrou percentual de recuperação de potássio pela parte aérea das plantas de milho de 59, 26 e 0,5% quando tratadas com KCl, termopotássio e verdeite, respectivamente.



**Figura 14.** Percentual de potássio recuperado pela parte aérea das plantas de milho tratadas com KCl e coproduto. O percentual de potássio recuperado foi calculado com base na soma dos valores médios do acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de milho após o primeiro e segundo cultivo em amostras de Neossolo Quartzarênico órtico.

#### 4.5. Eficiência dos extratores de potássio do solo

A eficiência dos extratores de potássio do solo foi avaliada pela correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo e o potássio acumulado na parte aérea das plantas de milho após o primeiro e segundo cultivo.

A correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora de Mehlich-1 e o potássio acumulado na parte aérea das plantas de milho foi menor do que a correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina trocadora de íons e o acúmulo de potássio na planta, tanto após o primeiro cultivo quanto após o segundo cultivo. Este resultado concorda com Raij et al. (1997), pois obtiveram as maiores correlações entre os teores de potássio extraído do solo e o potássio absorvido pela planta com o método de resina trocadora de íons em comparação com os métodos convencionais em determinados Estados brasileiros.

Após o primeiro cultivo das plantas de milho, a correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora de Mehlich-1 e o potássio acumulado na parte aérea das plantas de milho apresentou  $r = 0,12$  (não significativo,  $p > 0,05$ ) e a correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina trocadora de íons e o potássio acumulado na parte aérea das plantas foi positiva com  $r = 0,83$  ( $p < 0,01$ ).

Após o segundo cultivo das plantas de milho, a correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo pela solução extratora de Mehlich-1 e o potássio acumulado na parte aérea das plantas de milho apresentou  $r = 0,40$  (não significativo,  $p > 0,05$ ) e a correlação entre o teor de potássio extraído da amostra de solo pela resina trocadora de íons e o potássio acumulado na parte aérea das plantas foi positiva com  $r = 0,64$  ( $p < 0,01$ ).

Portanto, o potássio acumulado na parte aérea das plantas de milho após o primeiro e segundo cultivo pode ser explicado, respectivamente, em 83 e 64% pelo potássio extraído pela resina trocadora de íons.



## 5. CONCLUSÃO

A aplicação de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de coproduto fornece potássio para as plantas de milho em menor quantidade do que a aplicação das mesmas doses de K<sub>2</sub>O na forma de KCl após o primeiro cultivo e quantidades semelhantes após o segundo cultivo, devido o efeito residual do coproduto.

O coproduto apresenta eficiência agronômica de apenas 56% para fornecer o potássio as plantas de milho em relação à eficiência de 100% do KCl, em dois cultivos consecutivos.

As plantas de milho recuperam 92% do potássio fornecido pela fonte de KCl e 13% do potássio fornecido pela fonte alternativa de coproduto, em dois cultivos consecutivos.

Em amostra de Neossolo Quartizarênico órtico tratadas com coproduto, a extração de potássio com resina trocadora de íons apresenta maior correlação com a quantidade de potássio extraída pela planta.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Milho para silagem. 2010. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3j537ooi.html> (acesso em 25/04/2015).

ANDRADE, A.G.de; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D.de, SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de macronutrientes. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v. 32, p. 115 - 149, 1975.

BOARETTO, A.E.; RAIJ, B. VAN; SILVA, F.C.; CHITOLINA, J.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. Amostragem acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H. (ed.) **Cultura do milho; fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.63-145.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**, IAC: Campinas, 1986. (Boletim Técnico,106).

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**, 26:977-982, 2002.

CATANI, R.A., NETO, J.E.P. O método "Neubauer" aplicado ao estudo do potássio nos solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas. v.10, n.1. 27-32. 1949.

COELHO, A.M., FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. Arquivo do Agrônomo - Nº 2, POTAFOS, 1995. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3138> (acesso em 25/04/2015).

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. 2014. 141p.

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

DUARTE, I.N.; PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.2, p.195-200, 2013.

EICHLER, V., LOPES, A.S. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo de textura argilosa. **Ci. Prática**, 7:136-156, 1983.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Método de Análise de Solo. 2ed. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999, 212p.

EPA – Environmental Protection Agency, USA. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (method 3052). U.S. EPA, 20p, December, 1996. Disponível em: <http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf> (acesso em 26/04/2015)

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, 186p.

FELIX, F.F. Comportamento de cobre aplicado no solo por calda bordalesa. 2005. 74p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FRIEDERICH, A.; MAFRA, A.L.; ALMEIDA, J.A.; ANDRADE, A.P.; RAUBER, L.P. Pós de rochas como fonte de potássio para uso agrícola em argissolos vermelhos. II Congresso Brasileiro de Rochagem. **Anais**. Poços de Caldas-MG, 71p, 2013.

FURTINI, K.V. **Desenvolvimento de copo-de-leite cultivado em substratos com diferentes fontes de doses de potássio**. 2012. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012.

GOMES, R.J, CIPRIANI, H.N., SOUZA, P.R., DIAS, L.E. Biodisponibilidade de Arsênio em Dois Solos de Granulometrias Distintas sob Adição de Fosfato e Arsenato. **Anais**. FERTIBIO 2012, Maceió, Alagoas.

HSIAO, T.; LAUCHLI, A. Role of potassium in plant-water relations. **Advances in Plant Nutrition, Connecticut**, v.2, p.281-312, 1986.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola 2015. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Comentarios/lspa\\_201503comentarios.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Comentarios/lspa_201503comentarios.pdf) (acesso em 24/04/2015).

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e análises da economia mineral brasileira. 2012. 62p. <http://www.ibram.org.br> (27 de abril de 2014).

JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R.; BROYER, T.C.; CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirement of different plant species. *Plant and Soil*, v.8, n.3, p.337-353, 1957.

JORGE, J.A.; GARGANTINI, H. Determinação do potássio do solo pelo método de Neubauer e por diversos extratores químicos. **Bragantia**, Campinas, v.22, n.6, p.751-758, 1963.

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

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S., NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

MALAVOLTA, E. **Corretivos cálcicos, magnesianos e cálcio-magnesianos**. In: MALAVOLTA, E. (Ed). Manual de química agrícola: adubos e adubação. São Paulo: Agronomica Ceres, 1981. Cap.5, p.232-245.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Ceres, 2006. 443p.

MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta. Institutos da Potassa (EUA-Suíça)**. 1981, 61p. (Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.

MELLIS, E.V. Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn em solo tratado com lodo de esgoto. 2006. p.174. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo. Institutos da Potassa (EUA-Suíça)**. 1981, 79p. (Boletim Técnico, 2).

NASCIMENTO, M.; MONTE, M.B.M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Agrominerais: potássio. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. 2.ed. **Rocha e minerais industriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p.175-205.

NEUBAUER, H.; SCHNEIDER, W. Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehalts der Böden. Zeitsch. für Pflanzenernährung und Düng. 2A : 329-362. 1923.

OLNESS, A., BENOIT, G.R. A closer look at corn nutrient demand. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v.76, n.2, p.18-20, 1992.

ORIOLO JUNIOR, V.; COUTINHO, E.L.M. Effectiveness of fused magnesium potassium phosphate for Marandú grass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1855-1862, 2009.

PIZA, P. A. T. et al. Verdete da região do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. *Geociências*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 345-356, 2011.

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

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agromômico de Campinas, Fundação IAC, 1997. p.245-260. (Boletim Técnico, 100).

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

RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 285p.

RITCHIE, S.W., HANWAY, J.J., BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. Arquivo do Agrônomo - N° 15, Informações Agrônômicas - N° 103, POTAFOS, 2003. Disponível em : [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/\\$FILE/Encarte103.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/$FILE/Encarte103.pdf) (acesso em 25/04/2015).

SANGOI, L., ERNANI, P.R., LECH, V.A., RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.65-70, 2003.

SAS Institute Inc. **SAS/START User's Guide**, Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC. 2008

SILVA, A. A. S. et al. Verdete de Cedro do Abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 1062-1079, 2012.

SILVA, F.C.; ABREU, M.F; PÉREZ, D.V et al. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 107-184, 2009.

SILVA, F.C.; EIRA, P.A.; BARRETO, W.O.; PÉREZ, D.V., SILVA, C.A. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: Métodos usados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1998. 40p. (Documento, 3).

TÁVORA, J.E.M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. In: YAMADA, T. **Potássio na agricultura brasileira**. Institutos da Potassa (EUA-Suíça). 1982, 545p.

VALE, F. Avaliação química da disponibilidade dos micronutrientes contidos nos fertilizantes. 1997. p.67. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.

VIEIRA, M. Empresa pretende investir R\$ 6 bilhões na extração de potássio em Minas. Verde Fertilizantes conclui pesquisas no Alto do Paranaíba e decide aumentar investimento para extração no estado. 2012. [http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2012/10/27/internas\\_economia.325913/empresa-pretende-investir-r-6-bi-na-extracao-de-potassio-em-minas.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2012/10/27/internas_economia.325913/empresa-pretende-investir-r-6-bi-na-extracao-de-potassio-em-minas.shtml) (23 de agosto de 2013).

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. de E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. 1. ed. São Paulo, 2008. 104p

WERLE, R., GARCIA, R.A., ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2297-2305, 2008.

WU, W.; PETERS, J.; BERKOWITZ, G. Surface charge-mediated effects of  $Mg^{2+}$ , on  $K^+$  flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. **Plant Physiology**, Rockville, v.97, p.580-587, 1991.

WYN, J.R. Cytoplasmic potassium homeostasis: review of the evidence and its implications. In: OOSTERHUIS, D.; BERKOWITZ, G. (Ed). **Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants**. Saskatoon: Potash and Phosphate Institute of Canada, 1999. p.13-22.