

FORMAS, RELAÇÃO QUANTIDADE/INTENSIDADE E BIODISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO EM DIFERENTES LATOSSOLOS¹

IVO RIBEIRO DA SILVA², ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO³, LUIZ ARNALDO FERNANDES⁴, NILTON CURTI³ e FABIANO RIBEIRO DÓ VALE³

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi quantificar as formas de potássio em quatro Latossolos da zona fisiográfica dos Campos das Vertentes, MG, influenciados por diferentes materiais de origem, e avaliar sua capacidade de fornecer potássio a duas espécies florestais nativas (angico-amarelo – *Peltophorum dubium* e cássia-verrugosa – *Senna multijuga*) e do milho (*Zea mays*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Para a determinação das formas de potássio (potássio total, não-trocável, disponível, trocável e em solução) e da relação quantidade/intensidade, utilizaram-se amostras compostas de solo das camadas superficiais (0-20 cm) e subsuperficiais (20-60 cm). Os resultados mostraram que, entre as formas de potássio avaliadas, apenas o potássio total esteve relacionado com o material de origem, sendo os maiores valores observados nos solos influenciados por rochas pelíticas. O potássio trocável e o disponível foram as formas que mais contribuíram para o potássio total. O potássio em solução apresentou concentração bastante elevada nos quatro solos. Para o angico e cássia-verrugosa, o Latossolo Vermelho-Escuro e o Latossolo Variação Una possuem teores adequados de potássio para o crescimento inicial dessas espécies, ao passo que para o milho houve resposta à aplicação desse nutriente.

Termos para indexação: *Peltophorum dubium*, *Senna multijuga*, *Zea mays*, relação planta-solo, nutrientes, fertilidade do solo.

FORMS, QUANTITY/INTENSITY RATIO AND BIOAVAILABILITY OF POTASSIUM IN DIFFERENT LATOSOLS (OXISOLS)

ABSTRACT - The objective of this work was to quantify the potassium forms in four Latosols (Oxisols) from Campos das Vertentes, MG, Brazil, physiographical zone, influenced by different parent materials, and to evaluate their capacity to furnish potassium to two native forest species (*Peltophorum dubium* and *Senna multijuga*) and to corn (*Zea mays*). The experiment was conducted in greenhouse conditions at Soil Science Department of Universidade Federal de Lavras, in Lavras, MG, Brazil, in a completely randomized design, with six replications. For the characterization of potassium forms (total, non-exchangeable, available, exchangeable and in solution) and determination of the quantity/intensity ratio, soil composite samples from superficial (0-20 cm) and subsuperficial (20-60 cm) layers were utilized. The results showed that, among the evaluated K forms, only the total K was related to the parent material, being the highest values observed for the soils influenced by pelitic rocks. The exchangeable and the available K were the forms which more contributed to the total K. The in solution K presented elevated concentration in the four soils. For the *Peltophorum dubium* and *Senna multijuga*, the Dark-Red and Una Latosol revealed adequate amounts of K for the initial growth of these species, while for the corn there was response to this nutrient application.

Index terms: *Peltophorum dubium*, *Senna multijuga*, *Zea mays*, plant soil relations, nutrients, soil fertility.

¹ Aceito para publicação em 7 de janeiro de 2000.

² Eng. Agrôn., M.Sc., doutorando, Dep. de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: irsilva@unity.ncsu.edu

³ Eng. Agrôn., Dr., Dep. de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: afurtini@ufla.br, niltcuri@ufla.br, fabiano@ufla.br

⁴ Eng. Agrôn., D.Sc., Prof. Adjunto, Núcleo de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Caixa Postal 135, CEP 39404-006 Montes Claros, MG. E-mail: lafermand@ig.com.br

INTRODUÇÃO

Em ordem crescente de disponibilidade para as plantas, o potássio (K) do solo pode ser classificado em quatro categorias: estrutural (mineral), não-trocável ou dificilmente disponível, trocável, e em solução. Estas formas, quando somadas, fornecem o K total (Tisdale et al., 1993). Essas frações encontram-se em equilíbrio dinâmico (Sparks, 1980), e extratores químicos específicos têm sido utilizados na sua quantificação, tendo como vantagem permitir a comparação das formas de K em estudos conduzidos sob diferentes condições.

A disponibilidade de K para as plantas depende, além da quantidade de potássio trocável (fator quantidade) (Q) e de potássio em solução (fator intensidade) (I), da relação entre essas formas, que por sua vez determinam a capacidade dos solos em manter determinada concentração de K na solução quando da absorção pelas plantas ou de perdas ocorridas no solo. Vários trabalhos são encontrados na literatura descrevendo o equilíbrio do K no solo em termos dos parâmetros quantidade e intensidade (Goedert et al., 1975).

A zona fisiográfica dos Campos das Vertentes, MG, com uma área de 22.413,9 km², é composta, na sua grande maioria, por solos de baixa fertilidade natural, principalmente Latossolos, onde o K tem-se mostrado limitante ao crescimento vegetal de algumas espécies (Morikawa et al., 1998). Como a capacidade de suprimento de K para as plantas pode variar de acordo com as formas deste nutriente nos solos (Mengel & Rahmatullah, 1994), e como estas formas são influenciadas pelo material de origem (Nachtigal & Vahl, 1989), faz-se necessário avaliar a capacidade de suprimento de K dos solos, os quais podem apresentar distintos potenciais de fornecimento desse nutriente para as plantas. Informações neste sentido permitirão estabelecer não apenas a capacidade atual dos solos em suprir K para as plantas, mas também conhecer sua dinâmica no solo a médio e longo prazos.

O objetivo deste trabalho foi quantificar as formas de potássio em quatro Latossolos dos Campos das Vertentes, MG, derivados de diferentes materiais de origem, bem como sua capacidade de fornecer potássio às plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

Na primeira etapa do estudo referente à caracterização das formas de potássio no solo, foram utilizados quatro Latossolos representativos dos Campos das Vertentes, MG: Latossolo Variação Una (LU) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE1), influenciados por rochas pelíticas pobres e por Latossolo Vermelho-Escuro (LE2) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) influenciados por gnaisses (Giarola et al., 1997).

Amostras compostas dos solos, coletadas nas camadas de 0-20 cm e 20-60 cm, foram secadas ao ar, passadas em peneiras de 2 mm de abertura de malha e posteriormente caracterizadas química e fisicamente (Embrapa, 1979; Camargo et al., 1986) (Tabela 1).

O potássio total (K-to) foi extraído por digestão lenta em banho de areia com ácido fluorídrico e perclórico, segundo procedimento descrito por Jackson (1970). Para a extração do K com ácido nítrico, utilizou-se o método descrito por Knudsen et al. (1982). O potássio trocável foi extraído com NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0 (Mielniczuk, 1978) e o potássio disponível com o extrator Mehlich-1 (Embrapa, 1979). A fração de potássio não-trocável foi obtida pela diferença entre a fração extraída com HNO₃ 1 mol L⁻¹ e a extraída com NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7. O potássio em solução foi extraído com CaCl₂ 1 mmol L⁻¹ (Mielniczuk, 1978).

Os parâmetros da relação quantidade/intensidade (Q/I) foram determinados conforme método descrito por Mielniczuk (1978), utilizando, como solução de referência, CaCl₂ 1 mmol L⁻¹. A partir da curva Q/I de cada solo, foram estimados os valores de K trocável (ΔK), e os parâmetros do quociente de atividade de equilíbrio (QAK_e), que é o valor do quociente de atividade de potássio (QAK) quando o delta K (ΔK) é igual a zero. A atividade de K na solução do solo (K_e) e o poder-tampão de potássio (PTK) foram calculados a partir da declividade de um segmento reto da curva Q/I. Todas as determinações foram feitas em triplicatas, e em todos os extratos o K foi determinado por fotometria de chama.

Na segunda etapa do estudo foram selecionadas quatro das oito amostras de solo caracterizados quanto às formas de potássio, para cultivo com três espécies em casa de vegetação, em tratamentos com e sem o fornecimento do nutriente. As amostras escolhidas foram as provenientes da camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-60 cm) dos solos LE1 e LU, tamisados em malha de 5 mm e acondicionados em vasos com capacidade de 1,35 kg.

Os solos foram incubados, em vasos plásticos de 1,5 dm³ de capacidade, com CaCO₃ e MgCO₃ p.a., numa relação equivalente Ca:Mg de 4:1, sendo as doses do corretivo calculadas pelo método da curva de incubação, vi-

sando elevar o pH dos solos para 6,0. Após incubação por 30 dias com umidade em torno de 60% do volume total de poros (VTP), todos os vasos receberam 30 mg de N; 100 mg de P e 34,4 mg de S; 0,8 mg de B; 3,6 mg de Mn; 1,3 mg de Cu; 0,15 mg de Mo e 4 mg de Zn/kg de solo na forma de sais p.a. Os sais foram aplicados na forma de solução e incorporados uniformemente ao volume total de solo. No tratamento que recebeu adubação potássica, a quantidade aplicada foi de 84 mg de K/kg de solo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial 4x2 (quatro solos e duas doses de potássio) com seis repetições.

Procedeu-se o cultivo de duas espécies florestais nativas da região de coleta dos solos (angico-amarelo – *Peltophorum dubium* – e cássia-verrugosa – *Senna multijuga*) e de milho (*Zea mays*). A semeadura foi feita diretamente nos vasos, efetuando-se um desbaste 20 dias após a emergência, deixando-se uma planta por vaso.

Durante a condução do experimento a umidade dos solos foi mantida em torno de 60% do VTP. Para as espécies florestais foram realizadas quatro adubações de cobertura com 25 mg kg⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, sendo a primeira aos 30 dias após a emergência, e as demais, a cada 20 dias. No milho, realizaram-se duas aplicações de 25 mg kg⁻¹ de N, aos 15 e 25 dias após a emergência, utilizando a mesma fonte do nutriente.

As plantas de milho foram colhidas aos 32 dias após a emergência, e as das espécies florestais, aos 100 dias após a emergência. O material vegetal colhido foi separado em raiz e parte aérea, secado em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, e pesado para determinação do peso seco. Posteriormente, efetuou-se a digestão nítrico-perclórica da matéria seca da parte aérea e raiz das plantas, determinando-se, nos extratos, o potássio, por fotometria de chama. Calculou-se também a eficiência de utilização de potássio pelas plantas nos diferentes tratamentos, pelo método proposto por Siddiqi & Glass (1981).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frações de potássio no solo

As formas de potássio e a contribuição percentual de cada forma para o K total variaram de acordo com o solo e o material de origem (Tabela 2).

Os teores de potássio total diferiram significativamente entre os solos e profundidades, variando de 6,472 a 9,187 mmol L⁻¹, e de 4,242 a 7,389 mmol L⁻¹ na superfície (0-20 cm) e subsuperfície (20-60 cm), respectivamente (Tabela 2). Esses valores de potássio total são baixos, evidenciando o avançado estágio de intemperismo (lixiviação) desses Latossolos. Variações substanciais nos teores totais de K no solo também foram obtidos por outros autores (Mielniczuk, 1978; Prezotti & Defelipo, 1987).

Os maiores teores de K total observados nas camadas superficiais em todas as amostras de solo (Tabela 2) parecem estar ligados aos teores mais elevados das frações trocável e disponível, o que é indicado pelo coeficiente de correlação obtido entre essas duas frações (Tabela 3) e a elevada participação destas frações em relação ao K total (Tabela 2). De modo geral, os maiores teores de K total foram observados para o LU e LE1, que são solos influenciados por rochas pelíticas, relativamente mais ricas neste mineral (Resende et al., 1997).

Observaram-se diferenças marcantes entre os solos com relação ao potássio não-trocável, sendo que o LE1 apresentou os maiores teores desta fração, principalmente em relação ao LU (Tabela 2), sugerindo, assim, neste caso, que esta reserva de potássio não esteve relacionada com o material de origem. No LU, a fração não-trocável de K é até mesmo in-

TABELA 1. Principais atributos químicos, granulométricos e rochas de origem dos solos estudados¹.

Solo	Profundidade (cm)	pH	S	t	T	V	M.O.	Areia	Silte	Argila	Rocha de origem
			--(mmol _c Kg ⁻¹)--			(%)		------(g kg ⁻¹)-----			
LU	0-20	4,6	8	11	71,0	12	38	130	210	660	Rochas pelíticas pobres
	20-60	4,9	3	4	39	9	31	130	190	680	Rochas pelíticas pobres
LE1	0-20	5,1	13	15	83	15	44	170	230	600	Rochas pelíticas pobres
	20-60	5,2	5	6	50	9	34	160	220	620	Rochas pelíticas pobres
LE2	0-20	4,5	11	18	109	10	43	410	120	470	Gnaïsse
	20-60	4,7	5	6	55	8	18	370	130	500	Gnaïsse
LV	0-20	4,6	6	12	76	8	31	370	140	490	Gnaïsse
	20-60	4,7	5	9	61	8	30	350	130	520	Gnaïsse

¹ S: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; M.O.: matéria orgânica.

ferior à trocável, o que indica que a extração com HNO_3 1 mol L^{-1} a quente pode não ser o melhor método para avaliar a reserva de potássio em certos solos. Esse, provavelmente, é um dos motivos pelos quais a classificação do K do solo em trocável e não-trocável, em determinadas situações, não tem se mostrado adequada (Fernandes et al., 1993).

A menor capacidade de extração de potássio pelo HNO_3 1 mol L^{-1} a quente, em comparação ao acetato de amônio, pode estar relacionada à presença de micas resistentes ao intemperismo na fração argila. Conforme Rich (1968), as micas podem, pelo processo de intemperização conter ilhas de hidróxi-Al nas entrecamadas, que sob condições de pH mais elevado, como ocorre no caso do uso do acetato de amônio, são precipitadas, ocorrendo assim a extração do K presente nestas. De fato, Chagas et al. (1997), estudando o mesmo LU utilizado no presente trabalho, constatou a presença de ilita na fração argila deste solo, corroborando assim esta hipótese.

Frações mais facilmente disponíveis parecem estar associadas ao K não-trocável, o que é confirma-

do pelo coeficiente de correlação obtido entre esta fração e a CTC efetiva, teor de matéria orgânica e K disponível (Tabela 3), além da redução significativa dessa fração com a profundidade (Tabela 2).

Os resultados obtidos mostram também que as frações de K disponível e trocável nesses solos não estiveram relacionadas com o material de origem (Tabela 2), provavelmente por se tratar de solos bastante intemperizados e submetidos à lixiviação intensa. Adicionalmente, o coeficiente de correlação relativamente baixo, embora significativo, obtido entre o K disponível (Mehlich-1), e o K trocável (NH_4OAc 1 mol L^{-1}) indica que, nestes solos, estes extractores não devem ser utilizados indistintamente.

As frações disponível e trocável de potássio foram as que mais contribuíram para o K total, embora esta participação tenha sido distinta entre solos e profundidades (Tabela 2). A participação elevada dessas formas de K mais prontamente disponíveis (K trocável e disponível) para o K total indica baixos níveis do nutriente no solo, pois esta contribuição está relacionada aos teores relativamente baixos obtidos para o K total.

TABELA 2. Formas de potássio determinadas em diferentes solos dos Campos das Vertentes, MG¹.

Solo	Profundidade (cm)	Potássio				
		Total	Não-trocável	Disponível	Trocável	Solução
----- (mmol _c kg ⁻¹) -----						
LU	0-20	9,187	- 0,050	1,330 (14,48)	1,634 (17,79)	0,606 (6,60)
	20-60	4,242	- 0,037	0,520 (12,26)	1,004 (23,67)	0,239 (5,63)
LE1	0-20	8,839	0,908 (10,27)	1,594 (18,03)	1,200 (13,58)	0,844 (9,55)
	20-60	5,069	0,335 (6,61)	0,716 (14,12)	0,596 (11,76)	0,445 (8,78)
LE2	0-20	6,472	0,820 (12,67)	1,841 (28,44)	1,215 (18,77)	1,050 (16,22)
	20-60	5,069	0,037 (0,73)	0,512 (10,10)	0,510 (10,07)	0,258 (5,09)
LV	0-20	8,288	0,204 (2,46)	1,032 (12,45)	1,261 (15,21)	0,548 (6,61)
	20-60	7,389	0,092 (1,24)	0,818 (11,07)	1,004 (13,59)	0,393 (5,32)

¹ Os valores entre parênteses indicam a participação das formas de potássio em relação ao K total.

TABELA 3. Coeficientes de correlação entre o K total (K-to), K não-trocável (K-nt), K disponível (K-di), K trocável (K-tr) e K-solução (K-so) e alguns atributos dos solos.

Formas de K	K-nt	K-di	K-tr	K-so	Matéria orgânica	CTC efetiva	Areia	Silte	Argila
K-to	0,26	0,64*	0,78*	0,07	0,50	0,65*	0,01	0,16	-0,08
K-nt	-	0,79**	0,17	0,57	0,76*	0,78*	0,09	0,16	-0,22
K-di	-	-	0,66*	0,64*	0,86*	0,96*	0,12	0,05	-0,21
K-tr	-	-	-	0,18	0,64*	0,59	-0,17	0,15	0,17
K-so	-	-	-	-	0,66	0,64*	0,48	-0,45	-0,48

* e ** Significativo a 5% e 1% pelo teste t, respectivamente.

Nos quatro solos estudados, apenas nas camadas subsuperficiais do LU e LE2 foram encontradas concentrações de potássio na solução de equilíbrio abaixo de $0,3 \text{ mmol L}^{-1}$ (Tabela 2), concentração esta considerada como suficiente para o desenvolvimento vegetal (Raij, 1981). Este mesmo comportamento foi observado na maioria das amostras superficiais de solos da Paraíba (Chaves & Kinjo, 1987), e também em vários solos de Minas Gerais (Prezotti & Defelipo, 1987). Por outro lado, a baixa CTC efetiva dos solos do presente estudo sob condições naturais favorece a manutenção de K na solução do solo em concentrações bastante superiores à considerada ideal, como pode ser observado pela maior participação dessa fração do K total na camada superficial do LE2 (Tabela 2). Este solo é o que apresenta maior suscetibilidade a perdas de K por lixiviação, pelo seu maior teor de areia em relação aos demais (Tabela 1).

Quanto às relações quantidade/intensidade (Tabela 4), os maiores valores de quociente de atividade de equilíbrio (QAKe) e atividade de potássio na solução do solo (Ke) foram observados no LE2 na camada de 0-20 cm, enquanto os menores valores foram encontrados no LV. Pode-se constatar que o LV tem um menor poder-tampão de potássio (PTK) em relação aos demais solos (Tabela 4). Neste solo, as adubações potássicas devem ser feitas em doses menores e mais frequentes, de forma a minimizar as perdas de potássio por lixiviação e até mesmo o consumo de luxo pelas plantas. Por outro lado, o LE1 possui o maior PTK, requerendo assim adubações em maiores quantidades para que uma concentração de potássio na solução semelhante à do LE2, na camada de 0-20 cm, seja atingida. Neste solo, estas

adubações podem ser aplicadas com menor frequência, visto que ele possui maior capacidade de manter a atividade de K em solução. O LU, embora possua uma concentração de potássio em solução semelhante ao LE1, tem poder-tampão mais baixo, indicando que a sua capacidade de reposição de potássio na solução é reduzida, de modo que se nenhuma adubação potássica for feita, cultivos sucessivos poderão promover o esgotamento do nutriente. Segundo Goedert et al. (1975), em solos que apresentam baixo PTK, o potássio é facilmente liberado para a solução do solo, e como consequência, esses solos serão facilmente esgotados se submetidos a cultivos intensivos.

Os parâmetros da relação Q/I praticamente não apresentaram correlações com as frações de potássio (Tabela 5); no entanto, o PTK correlacionou-se significativamente e positivamente com o teor de silte e de argila. Segundo Chaves & Kinjo (1987), o PTK está relacionado à porcentagem de argila, o que corrobora os resultados deste trabalho.

Produção de biomassa, acúmulo e eficiência de utilização de potássio

As maiores produções de matéria seca, o maior teor de potássio na parte aérea e acúmulo de potássio na matéria seca total pelas espécies testadas foram observados, em geral, nos tratamentos que receberam aplicação do nutriente (Tabelas 6 a 8). Observa-se, também, que o incremento de matéria seca das espécies florestais em função da adubação com K foi menor do que o incremento observado com relação ao milho. Esta diferença de comportamento entre espécies, em função da disponibilidade de K, frequentemente tem-se correlacionado com habilidades distintas dessas espécies em absorver ou utilizar eficientemente esse nutriente (Furlani et al., 1986).

TABELA 4. Quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), potássio em equilíbrio (Ke) e poder-tampão de potássio (PTK) nos solos estudados.

Solo	Profundidade (cm)	QAKe ($\text{mmol kg}^{0,5}$)	Ke (mmol kg^{-1})	PTK ($\text{mmol kg}^{-1}/\text{mmol kg}^{0,5}$)
LU	0-20	0,31	1,44	4,59
	20-60	0,27	1,56	5,70
LE1	0-20	0,27	1,56	5,67
	20-60	0,44	2,49	8,32
LE2	0-20	0,49	2,54	5,20
	20-60	0,31	1,44	4,60
LV	0-20	0,29	0,31	4,47
	20-60	0,15	0,70	2,23

O milho apresentou sensível redução na produção de biomassa no tratamento sem potássio (Tabela 6), atingindo decréscimo de até 68% no LE1 na camada de 20-60 cm, quando comparado ao tratamento com K. Tal comportamento parece estar associado à elevada taxa de crescimento desta espécie nessa fase de desenvolvimento, fazendo com que os requerimentos desse nutriente sejam maiores. Além deste aspecto, deve também ser considerada a elevada exigência em potássio pelas plantas de milho (Büll, 1993). Por outro lado, Lima et al. (1997) verificaram uma pequena redução no crescimento de espécies arbóreas nativas na ausência de aplicação de K em um Latossolo Vermelho-Escuro dos Campos das Vertentes, atribuindo o fato a um baixo requerimento externo ou a uma maior eficiência de uso de K por estas espécies nesta condição. Tais afirmativas corroboram os resultados deste trabalho.

Quanto ao milho, houve contribuição de formas não-trocáveis de potássio nos tratamentos que rece-

beram aplicação do nutriente (Tabela 6), possivelmente pelo elevado incremento na produção de matéria seca nesta condição, que elevou o requerimento externo de K. O sistema radicular fasciculado e abundante do milho pode possibilitar a exploração de um volume maior de solo, esgotando rapidamente o K trocável do solo.

Outros trabalhos também têm mostrado que as reservas de potássio extraídas com HNO_3 1 mol L^{-1} podem ser aproveitadas pelas plantas (Melo et al., 1995). A alta capacidade do milho em explorar estas formas de potássio é confirmada pelo acúmulo de mais de 100% na quantidade de K absorvido em relação ao disponível (Tabela 6).

O maior teor de potássio na biomassa das espécies nos tratamentos com potássio ocasionaram maior eficiência de utilização (EFU) do nutriente nesta condição (Tabelas 6 a 8), embora em diferente magnitude. A menor EFU do milho sem dúvida se deve aos maiores teores do nutriente nesta espécie

TABELA 5. Coeficientes de correlação entre o quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), potássio em equilíbrio (Ke) e poder-tampão de potássio (PTK) e o K total (K-to), K não-trocável (K-nt), K disponível (K-di), K trocável (K-tr) e K-solução (K-so) e alguns atributos dos solos.

Parâmetros Q/I	K-to	K-nt	K-di	K-tr	K-so	Matéria orgânica	CTC efetiva	Areia	Silte	Argila
QAKe	-0,28	0,44	0,37	-0,11	0,49	0,33	0,30	0,06	0,04	-0,12
Ke	-0,43	0,45	0,27	-0,25	0,37	0,39	0,11	-0,24	0,28	0,20
PTK	-0,40	0,28	-0,03	-0,32	0,08	0,24	-0,17	-0,51	0,72*	0,62*

* Significativo pelo teste t ($P < 0,05$).

TABELA 6. Produção de matéria seca (MS), teor e acúmulo de potássio na matéria seca total (KMSTO) e eficiência de utilização de potássio (EFU) pelo milho com (+K) e sem (-K) aplicação de potássio.

Solo	Profundidade (cm)	Tratamento	Parâmetros avaliados				
			MSTO (g/vaso)	Teor (%)	KMSTO (mg/vaso)	EFU	K residual ¹ (mg/vaso)
LE1	0-20	+K	14,60	1,25	182,83	1,166	-5,95
		-K	8,72 (60) ²	0,34	29,79	2,552	33,39
	20-60	+K	12,69	1,29	163,44	0,985	-18,66
		-K	4,05 (32)	0,47	19,03	0,862	12,35
LU	0-20	+K	16,73	1,21	202,15	1,664	-5,45
		-K	9,07 (54)	0,40	35,98	2,286	50,32
	20-60	+K	11,16	1,50	167,53	0,616	-1,27
		-K	5,95 (58)	0,35	21,03	1,683	31,83
DMS			2,72	0,23	36,01	0,164	

¹ K residual = potássio-trocável + solução no vaso - KMSTO.

² Números entre parênteses referem-se à porcentagem da produção de matéria seca do tratamento sem K em relação ao tratamento com K.

em comparação às demais (Tabela 6). Neste caso, o crescimento das plantas no tratamento com K não aumenta na mesma proporção que a concentração de potássio no tecido vegetal.

Com relação à cássia-verrugosa, não foi verificada contribuição de formas não-trocáveis de potássio na sua nutrição (Tabela 7), possivelmente devido à pequena exigência e resposta dessa espécie ao potássio. Já para o angico, nas camadas de 20-60 cm do LE1 e do LU, verificou-se contribuição de formas não-trocáveis quando na ausência de fertilização com K (Tabela 8), sugerindo que esta espécie, em relação às outras estudadas, tem maior capacidade de esgotar as formas trocáveis e de mobilizar potássio de

formas não-trocáveis, apesar de seu baixo requerimento interno. Ainda quanto ao angico, a baixa resposta ao potássio (Tabela 8) e os teores mais elevados de potássio trocável nas camadas superficiais dos solos (Tabela 2) explicam a ausência de contribuição de formas não-trocáveis de potássio, mesmo sem sua aplicação, evidenciando a importância de se considerar a espécie vegetal quando se definem seus índices de disponibilidade de potássio para as plantas.

Com relação às espécies florestais estudadas, o potássio trocável e disponível não se correlacionaram significativamente com a produção de matéria seca, teor e acúmulo de potássio, mas para o poder-tampão a correlação foi significativa (Tabela 9). Portan-

TABELA 7. Produção de matéria seca (MS), teor e acúmulo de potássio na matéria seca total (KMSTO) e eficiência de utilização de potássio (EFU) pela cássia-verrugosa com (+K) e sem (-K) aplicação de potássio.

Solo	Profundidade (cm)	Tratamento	Parâmetros avaliados				
			MSTO (g/vaso)	Teor (%)	KMSTO (mg/vaso)	EFU	K residual ¹ (mg/vaso)
LE1	0-20	+K	21,86	0,66	145,17	3,292	31,41
		-K	16,01 (73) ²	0,17	26,5	9,672	36,68
	20-60	+K	19,7	0,56	109,71	3,537	35,07
		-K	17,04 (86)	0,24	41,01	7,080	1,35
LU	0-20	+K	18,85	0,54	101,28	3,508	98,42
		-K	15,77 (84)	0,15	23,42	10,619	62,88
	20-60	+K	17,08	0,47	80,67	3,616	85,59
		-K	14,58 (85)	0,16	23,80	8,932	29,06
DMS			3,64	0,21	22,40	2,634	

¹ K residual = potássio trocável + solução no vaso - KMSTO.

² Números entre parênteses referem-se à porcentagem da produção de matéria seca do tratamento sem K em relação ao tratamento com K.

TABELA 8. Produção de matéria seca (MS), teor e acúmulo de potássio na matéria seca total (KMSTO) e eficiência de utilização de potássio (EFU) pelo angico-amarelo com (+K) e sem (-K) aplicação de potássio.

Solo	Profundidade (cm)	Tratamento	Parâmetros avaliados				
			MSTO (g/vaso)	Teor (%)	KMSTO (mg/vaso)	EFU	K residual ² (mg/vaso)
LE1	0-20	+K	22,13	0,57	125,24	3,910	51,34
		-K	20,10 (91) ²	0,30	60,80	6,645	2,38
	20-60	+K	24,87	0,40	98,34	6,290	46,44
		-K	22,03 (89)	0,38	83,00	5,847	-51,62
LU	0-20	+K	24,47	0,42	102,75	5,828	96,95
		-K	19,74 (81)	0,32	63,50	6,136	22,80
	20-60	+K	21,31	0,49	104,57	4,343	61,69
		-K	18,3 (86)	0,29	53,51	6,258	-0,65
DMS			4,74	0,11	23,02	1,453	

¹ K residual = potássio trocável + solução no vaso - KMSTO.

² Números entre parênteses referem-se à porcentagem da produção de matéria seca do tratamento sem K em relação ao tratamento com K.

TABELA 9. Coeficientes de correlação entre o K total (K-to), K não-trocável (K-nt), K disponível (K-di), K trocável (K-tr), K-solução (K-so), quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), potássio em equilíbrio (Ke) e poder-tampão de potássio com a produção de matéria seca (MS), teor e acúmulo (KMSTO) de potássio na matéria seca pelas espécies vegetais estudadas.

K no	Milho			Angico-amarelo			Cássia-verrugosa		
	MS	Teor	KMSTO	MS	Teor	KMSTO	MS	Teor	KMSTO
K-to	0,89*	0,36	0,98*	0,04	-0,12	-0,12	0,09	0,04	0,02
K-nt	0,17	0,23	0,23	0,38	0,02	0,14	0,59	0,36	0,38
K-di	0,84*	0,31	0,89*	0,09	-0,22	-0,13	0,22	0,09	0,06
K-tr	0,94*	-0,14	0,75*	-0,50	-0,56	-0,57	-0,50	-0,49	-0,54
K-so	0,68	0,43	0,81*	0,29	-0,06	0,05	0,44	0,29	0,27
QAKe	-0,34	0,97*	0,30	0,97*	0,94*	0,97*	0,90*	0,97*	0,96*
Ke	-0,40	0,93*	0,21	0,99*	0,92*	0,97*	0,97*	0,99*	0,99*
PTK	-0,36	0,97*	0,22	0,99	0,97*	0,93*	0,99*	0,99*	0,99*

* Significativo pelo teste t (P<0,05).

to, estes parâmetros não são indicados para prever a disponibilidade de potássio para essas espécies. Apesar de a determinação dos parâmetros da relação Q/I ser trabalhosa, justifica-se seu uso para essas espécies, em razão da falta de outros parâmetros para prever a disponibilidade de potássio para elas.

Quanto ao milho, sua produção de matéria seca e acúmulo de potássio correlacionaram-se significativamente com as formas de potássio trocável e disponível (Tabela 9), mostrando que a determinação destas frações de potássio é suficiente para prever a capacidade dos solos em fornecer potássio à cultura do milho.

Em função da resposta das plantas a aplicação de potássio, dos baixos teores de potássio trocável e disponível, e da pequena reserva desse nutriente em todos os solos estudados, a adubação com este nutriente é necessária, principalmente se forem praticados cultivos intensivos.

CONCLUSÕES

1. Entre as frações de potássio estudadas, apenas o K total está relacionado com o material de origem dos solos estudados.

2. À exceção do K da solução, todas as frações de potássio apresentam teores relativamente baixos.

3. O Latossolo Vermelho-Escuro e o Latossolo Variação Una possuem teores adequados de potássio para o crescimento inicial do angico e da cássia-verrugosa, enquanto que para o milho há necessidade de aplicação desse nutriente.

REFERÊNCIAS

- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba : Potafos, 1993. p.63-146.
- 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**. Campinas : Instituto Agrônomo, 1986. 94p.
- CHAGAS, C.S.; CURTI, N.; DUARTE, M.N.; MOTTA, P.E.F.; LIMA, J.M. Orientação das camadas de rochas metapelíticas pobres na gênese de latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.5, p.539-548, maio 1997.
- CHAVES, L.H.G.; KINJO, T. Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.257-261, 1987.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- FERNANDES, D.R.; ROSSETTO, C.A.V.; ISHIMURA, I.; ROSOLEM, C.A. Nutrição da soja e formas de potássio no solo em função de cultivares e adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.405-410, 1993.
- FURLANI, P.R.; LIMA, M.; MIRANDA, L.T.; MIRANDA, L.E.C.; SAWAZAKI, E.;

- MAGNAVACA, R. Avaliação de linhagens, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.6, p.655-660, jun. 1986.
- GIAROLA, N.F.B.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CHAGAS, C.S.; FERREIRA, M.M. **Solos da região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG): perspectiva ambiental**. Lavras : UFPA, 1997. 101p.
- GOEDERT, W.J.; SYER, J.K.; COREY, R.B. Relações quantidade-intensidade de potássio em solos do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v.10, n.11, p.31-35, 1975.
- JACKSON, M.L. **Análisis química de suelos**. 2.ed. Barcelona : Omega, 1970. 66p.
- KNUDSEN, D.; PETERSON, G.A.; PRATT, P.F. Lithium, sodium and potassium. In: PAGE, A.L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison : American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p.225-246.
- LIMA, H.N.; VALE, F.R.; SIQUEIRA, J.O.; CURTI, N. Crescimento inicial a campo de sete espécies arbóreas nativas em resposta à adubação mineral com NPK. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.21, n.2, p.189-195, 1997.
- MELO, V.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.159-164, 1995.
- MENGEL, K.; RAHMATULLAH, R. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.17, p.75-79, 1994.
- MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba : Potafos, 1978. 80p. (Boletim Técnico, 2).
- MORIKAWA, C.K.; FAQUIN, V.; CURTI, N.; MARQUES, E.S.; WERNEK JÚNIOR, M.R.; EVANGELISTA, A.R. Crescimento e produção de gramíneas forrageiras em amostras de latossolo da região dos Campos das Vertentes, MG, Brasil. **Pasturas Tropicales**, Cali, v.20, n.2, p.18-23, 1998.
- NACHTIGAL, G.R.; VAHL, L.C. Formas de potássio em solos da região sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.7-12, 1989.
- PREZOTTI, L.C.; DEFELIPO, B.V. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.109-114, 1987.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba : Potafos, 1981. 142p.
- RESENDE, R.F.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2.ed. Viçosa : Núcleo de Estudos e Planejamento de Uso da Terra, 1997. 367p.
- RICH, C.I. Mineralogy of soil potassium. In: KILMER, V.J.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C. (Ed.). **The role of potassium in agriculture**. Madison : Soil Science Society of America, 1968. p.79-108.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, n.3, p.298-302, 1981.
- SPARKS, D.L. Chemistry of soil potassium in Atlantic coastal plain soils: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.11, p.435-449, 1980.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York : Macmillan, 1993. 634p.