ARTIGO ORIGINAL

Montesquieu da Silva Vieira¹
Fábio Henrique Tavares de Oliveira²
Hemmannuella Costa Santos^{3*}
Jailma dos Santos de Medeiros⁴

Capacidade de suprimento de potássio em doze classes de solos em função de cultivos sucessivos de milho

Potassium supply capacity of twelve soil classes in function of maize successive crops

- ¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, Campus Ipanguaçu, Rod. RN 118, Zona Rural, 59508-000, Ipanguaçu, RN, Brasil
² Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Rua Francisco Mota, 572, Alto de São Manoel, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil
³ Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus Universitário III, s/n, Cidade Universitária, 58220-000, Bananeiras, PB, Brasil
⁴ Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Rod. PB 079, 58397-000, Areia, PB, Brasil

*Autor Correspondente:
E-mail: hecosantos@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Mineralogia
Formas de potássio
Potássio não trocável

KEYWORDS

Mineralogy
Potassium forms
Non-exchangeable potassium

RESUMO: Os teores e formas de K no solo variam de acordo com as classes de solos e, consequentemente, com o grau de desenvolvimento, o que influencia diretamente a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a capacidade de suprimento de K para as plantas em 12 classes de solos ao longo de quatro cultivos sucessivos de milho em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e os 24 tratamentos consistiram da combinação de duas doses de K (0 e 100 mg dm⁻³) e 12 solos. Antes e após cada cultivo de milho, foram retiradas de cada vaso subamostras de 0,2 dm³ para análises dos teores de K não trocável (Knt), K trocável (Kt) e K solúvel (Ks). Os solos menos desenvolvidos mais argilosos, com predominância de minerais do tipo 2:1 na fração argila, apresentaram maior capacidade de suprimento de K para as plantas de milho ao longo dos quatro cultivos sucessivos, enquanto os solos mais desenvolvidos com predominância de caulinita e goethita na fração argila apresentaram menor capacidade de suprimento de K, especialmente aqueles mais arenosos.

ABSTRACT: Forms and content of K in soil vary according to soil classes and, consequently, with the degree of soil development, ultimately influencing the availability of K to plants. The objective of this study was to evaluate the K supply capacity of 12 soils through four successive maize crops. A randomized experimental block design was used with three replications and twenty-four treatments that consisted in a combination of two doses of K (0 and 100 mg dm⁻³) and 12 soils. After and before maize crops, 0.2 dm³ sub-samples were taken from each pot in order to determine the content of non-exchangeable K (Knt), exchangeable K (Kt) and soluble K (Ks). The less developed soil, in which high levels of secondary 2:1 minerals was observed in the clay fraction, showed greater capacity to supply K to maize plants over the four successive crops. In turn, the more developed soil, in which kaolinite and goethite predominate in the clay fraction, showed less K supply capacity, especially in the case of sandy soils.

1 Introdução

As formas de K no solo estão relacionadas com a maneira com que este elemento se liga aos componentes sólidos do solo, assim como com a energia dessas ligações. As formas trocável e solúvel de K correspondem à reserva de curto prazo para as plantas, porque são as formas prontamente disponíveis, ao passo que o K não trocável só estará disponível para as plantas após o esgotamento ou grande diminuição dos teores de K das formas prontamente disponíveis. O K estrutural se refere ao K retido na rede cristalina dos minerais, o qual é liberado à medida que esses minerais vão se intemperizando (Zörb et al., 2014). Como estas formas de K estão em equilíbrio, quando o K solúvel é absorvido pela planta ou perdido do solo por lixiviação, este equilíbrio é mantido mediante a liberação de K trocável para a solução do solo. Quando a concentração do K trocável atinge valores muito baixos, ocorre liberação de K não trocável para as formas trocável e solúvel, o que possibilita o desenvolvimento das plantas, mesmo em solos com baixos teores de K trocável e K solúvel (Kirkman et al., 1994; Kaminski et al., 2007; Medeiros et al., 2014; Vieira et al., 2016).

A quantidade de K presente em cada forma é determinada por vários fatores do solo, incluindo tipos e quantidade de argila, absorção de K pelas plantas, adubações, cultivos, perdas por lixiviação e a efetividade dos processos de fixação e de liberação de K que ocorrem no solo (Kirkman et al., 1994).

Na maioria dos solos, o K trocável é a reserva de K disponível mais importante para as plantas, o que justificaria apenas analisar a concentração desta forma química de K para avaliar a disponibilidade deste nutriente nesses solos. No entanto, vários trabalhos demonstraram a contribuição de formas não trocáveis de K para o suprimento das necessidades de K das plantas (Rupa et al., 2001; Cabbau et al., 2004; Taiwo et al., 2010; Rosolem et al., 2012; Alves et al., 2013).

O nordeste brasileiro apresenta ampla variedade de classes de solos devido principalmente às diferenças climáticas e de materiais de origem observadas nas regiões da Zona da Mata, Agreste e Sertão, o que favorece tanto a formação de solos pouco desenvolvidos, a exemplo dos Neossolos, como de solos muito desenvolvidos, como os Latossolos. No Estado da Paraíba, onde ocorrem solos com ampla variação de características físicas, químicas e mineralógicas, os solos possuem estoques de K solúvel, K trocável e K não trocável bastante variados (Medeiros et al., 2010, 2014).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade de suprimento de K para as plantas em 12 classes de solos ao longo de quatro cultivos sucessivos de milho em casa de vegetação e relacioná-las com suas características físicas, químicas e mineralógicas.

2 Material e Métodos

Foram usadas amostras de 12 solos representativos do Estado da Paraíba, escolhidos com base na ocorrência do solo no Estado e em sua utilização na agricultura. Esses solos foram classificados por Brasil (1972), mas enquadrando-se na nova classificação proposta por Embrapa (2006), seus nomes são: Argissolo Amarelo (PA); Argissolo Acinzentado (PAC); Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe); Argissolo Vermelho Amarelo (PVA); Latossolo Amarelo (LA); Argissolo Vermelho Distrófico (PVd); Neossolo Regolítico (RR); Neossolo Litólico (RL); Luvisolo Háplico (TX); Planossolo Háplico (SX); Neossolo Flúvico (RY) e Vertissolo Háplico (VX), coletados na camada de 0 a 30 cm de profundidade. As amostras foram caracterizadas química, física e mineralogicamente conforme metodologia descrita em Embrapa (1997). Os resultados dessas análises são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características químicas de 12 solos representativos do Estado da Paraíba⁽¹⁾.

Table 1. Chemical characteristics of 12 representative soils of Paraíba State⁽¹⁾.

Solo ⁽²⁾	pH	C.O.	P	P-rem	K ⁺ trocável ⁽³⁾	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(H+Al)	CTC pH 7,0
	(H ₂ O)	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg L ⁻¹	----- cmol _c dm ⁻³ -----							
Solos mais desenvolvidos ⁽⁴⁾												
PA	5,9	0,35	1,52	45	0,064	0,04	0,60	0,40	0,02	0,11	1,68	2,74
PAC	4,4	1,07	3,59	47	0,109	0,10	0,80	0,60	0,05	0,96	5,67	7,20
PVe	6,3	0,90	6,80	35	0,609	0,39	5,40	1,80	0,04	0,0	2,75	10,38
PVA	5,5	1,07	2,63	28	0,280	0,24	1,10	1,30	0,04	0,32	5,50	8,18
LA	5,9	0,59	11,42	44	0,236	0,18	1,60	1,15	0,11	0,0	2,14	5,18
PVd	5,0	0,80	2,32	28	0,245	0,19	1,90	0,80	0,04	0,32	4,28	7,20
Solos menos desenvolvidos ⁽⁴⁾												
RR	7,0	0,34	24,1	54	0,214	0,18	1,80	0,90	0,02	0,0	1,07	3,97
RL	6,2	0,38	4,31	45	0,286	0,19	2,00	1,10	0,25	0,05	2,29	5,83
TX	6,2	0,76	4,35	41	1,045	0,64	6,10	4,00	0,10	0,0	2,90	13,74
SX	7,2	0,43	21,58	37	0,257	0,21	12,20	5,60	0,30	0,0	1,53	19,84
RY	7,3	0,89	144,3	44	0,779	0,60	11,00	4,00	0,09	0,0	1,22	16,91
VX	8,4	0,37	19,77	25	1,683	0,69	29,10	10,40	2,19	0,0	0,76	43,13

⁽¹⁾ Análises realizadas conforme metodologias apresentadas em Donagema et al. (2011). ⁽²⁾ Embrapa (2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho Eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho Distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisolo Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽³⁾ Medeiros et al. (2014). ⁽⁴⁾ Solos mais desenvolvidos: Ki ≤ 2,46; Solos menos desenvolvidos: Ki ≥ 2,46.

Tabela 2. Classe de solo⁽¹⁾, formação geológica e litologia⁽²⁾, análise textural⁽³⁾ e localização de coleta dos solos representativos do Estado da Paraíba.
Table 2. Soil Class⁽¹⁾, geological formation and lithology⁽²⁾, textural analysis⁽³⁾ and location of collection of representative soils of Paraíba State.

Solo ⁽¹⁾	Município de coleta	Formação geológica e litologia ⁽²⁾	Precipitação mm	Densidade do solo g cm ⁻³	Textura			Minerais ⁽⁴⁾	Ki ⁽²⁾
					Areia	Silte	Argila		
					-----	dag kg ⁻¹	-----		
Solos mais desenvolvidos ⁽⁵⁾									
PA	Jacumã	Terciário/ Sedimentos do Grupo Barreiras.	1500	1,47	88	3	9	Ct, Gb, Gt	1,72
PAC	Mamanguape	Terciário/ Sedimentos do Grupo Barreiras.	1600	1,48	84	4	12	Ct, Gt	1,92
PVe	Marizópolis	Granito metassomático	600	1,44	58	24	18	Ct, Gt, Mi, (2:1)	2,11
PVA	Areia	Pré- Cambiano (CD)/ Biotita-gnaise.	900	1,36	66	11	23	Ct, Gt	2,46
LA	Cuité	Terciário/ Sedimentos da Série Serra do Martins.	600	1,35	65	6	29	Ct, Gt	2,16
PVd	Alagoa Grande	Pré-Cambiano (CD)/ Hornblenda- biotita-gnaise.	1200	1,28	49	13	38	Ct, Gt, Mi, Hm	2,25
Solos menos desenvolvidos ⁽⁵⁾									
RR	Esperança	Migmático (embrechito facoidal).	800	1,67	89	8	3	Ct, Mi, Qz, (2:1)	2,17
RL	Pocinhos	Pré-Cambiano/ Gnaise.	650	1,54	81	11	8	Mi, Ct, (2:1)	2,93
TX	São Miguel de Taipu	Pré-Cambiano (CD)/ Hornblenda-gnaise.	700	1,42	67	19	14	Ct, Mi, (2:1), Fp	3,42
SX	Cuité	Pré-Cambiano (CD)/ Gnaise com Biotita e Hornblenda.	600	1,43	64	17	19	(2:1), Mi, Ct, Gt	4,21
RY	Sousa	Pré-Cambiano/ Arenitos e folhelhos.	700	1,34	45	35	20	Mi, Ct,, (2:1)	3,20
VX	Sousa	Cretáceo/ Sedimentos da Série Rio do Peixe.	700	1,29	22	35	43	(2:1), Qz, Mi	4,52

⁽¹⁾ Embrapa (2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho Eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho Distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisolo Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽²⁾ BRASIL (1972). ⁽³⁾ Embrapa (1997). ⁽⁴⁾ Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Mi: mica; (2:1): mineral 2:1; Hm: hematita; Qz: quartzo; Fp: feldspato. Os minerais estão citados na ordem de sua predominância no solo. ⁽⁵⁾ Solos mais desenvolvidos: Ki ≤ 2,46; Solos menos desenvolvidos: Ki ≥ 2,46.

A necessidade de calagem dos solos foi calculada pelos métodos da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e pelo método da saturação por bases (Alvarez & Ribeiro, 1999), mas para a realização da calagem levou-se em consideração a média aritmética dos valores de necessidade de calagem estimados por esses dois métodos. Para todos os solos, foi calculada a necessidade de calagem pelo método da saturação por bases, considerando o valor de V esperado igual a 60%. Apenas os solos PA, PAC, PVA e PVd precisaram receber calagem, aplicando-se uma mistura de CaCO₃ (p.a.) e de MgCO₃ (p.a.) numa relação molar 4:1, sendo incubados por duas semanas com uma quantidade de água correspondente a 50% da porosidade total de cada solo. Depois desse período de incubação, esses quatro solos, e os demais, foram submetidos aos tratamentos com doses de K.

Foram aplicadas duas doses de K (0 e 100 mg dm⁻³) em todos os 12 solos, na forma de KCl p.a. em solução, e em seguida todos os solos foram incubados durante 21 dias. Esse período de incubação foi realizado com as amostras de solos (3,2 dm³)

em vasos plásticos abrigados em casa de vegetação. No final da incubação, as amostras de todos os solos foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas em peneira de 4 mm de malha e devolvidas aos vasos.

Imediatamente após o período de incubação das doses de K com os solos e antes do plantio do milho, foi retirada uma amostra de 0,2 dm³ de solo de cada vaso para análises químicas das formas de K do solo. O K trocável foi extraído pelo acetato de amônio (CH₃COONH₄) 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 (Helmke & Sparks, 1996), utilizando-se a relação solo:solução (m/v) de 1:10 e tempo de agitação de 5 min. O K solúvel do solo foi extraído com água destilada, também usando-se a relação solo:solução (m/v) de 1:10 e tempo de agitação de 5 min. O teor de K não trocável foi estimado subtraindo-se do teor de K do solo extraído com HNO₃ 1 mol L⁻¹ fervente o teor de K trocável extraído com (CH₃COONH₄) 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 (Helmke & Sparks, 1996).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições e 24 tratamentos (12 solos × 2 doses de K),

totalizando 72 unidades experimentais. Cada unidade experimental era constituída de um vaso plástico sem dreno, contendo 3,0 dm³ de solo e duas plantas de milho. Foi realizada uma adubação com macro e micronutrientes, exceto K, de acordo com Farias et al. (2009).

As doses de P foram escolhidas com base no valor de P remanescente (Alvarez et al., 2000) e foram aplicadas em 100% do volume de solo. Nos solos PA, LA, PVA, TX, RY, RL e SX, foram aplicados 175 mg dm⁻³ de P; nos solos PVe e RR, foram aplicados 150 mg dm⁻³ de P; e nos solos PVd e VX, a dose de P foi de 205 mg dm⁻³. Como parte dessas doses de P foi fornecida pelo NH₄H₂PO₄ aplicado para fornecer o N, utilizou-se o Ca (H₂PO₄)₂.H₂O para fornecer o restante do P necessário para completar essas doses. Depois da realização da adubação, as amostras dos solos foram novamente acondicionadas nos vasos e umedecidas com uma quantidade de água destilada correspondente a 50% da porosidade total do solo.

Imediatamente após a realização da adubação com macro e micronutrientes, realizou-se o plantio do milho, que consistiu da semeadura do milho híbrido cultivar 2C577. Trinta dias após

a semeadura, foi efetuado o corte da parte aérea das plantas de cada vaso a um centímetro do solo.

Depois da colheita das plantas no final do primeiro cultivo, foi retirada uma subamostra de 0,1 dm³ do solo de cada um dos 72 vasos para análise química dos teores de K solúvel, K trocável e K não trocável. O volume de solo restante foi devolvido ao vaso para se proceder aos outros três cultivos, de forma semelhante ao que foi feito no primeiro cultivo desde a semeadura até a colheita e sem permitir que houvesse deficiência de outros nutrientes para as plantas. As adubações a partir do segundo cultivo foram realizadas a partir da experiência e da identificação dos possíveis sintomas de deficiência dos nutrientes.

As análises estatísticas consistiram de análises de variância e correlação.

3 Resultados e Discussão

Os teores de K não trocável (Knt) nos solos praticamente não variaram com a aplicação da dose de 100 mg dm⁻³ de K, mas os teores de K trocável (Kt) e de K solúvel (Ks) aumentaram

Tabela 3. Teores médios de K não trocável, K trocável e K solúvel, avaliados antes de cada cultivo e após os quatro cultivos sucessivos de milho, em função de doses de K adicionadas em solos mais e menos desenvolvidos do Estado da Paraíba.

Table 3. Average levels of non-exchangeable K, exchangeable K and soluble K evaluated before each crop and after four successive maize crops, in function of K fertilization in more and less developed soils of Paraíba State.

Solo ⁽¹⁾	Dose	K não trocável (mg dm ⁻³)				Após o 4º cultivo	K trocável (mg dm ⁻³)				Após o 4º cultivo	K solúvel (mg dm ⁻³)				Após o 4º cultivo
		Cultivos					Cultivos					Cultivos				
		1º	2º	3º	4º		1º	2º	3º	4º		1º	2º	3º	4º	
Solos mais desenvolvidos																
PA	0	24,6a	23,8	26,3	8,9	17,8	26,3b	19,6	14,2	21,7	24,9	15,6b	20,6	16,6	20,0	26,0
	100	24,5a	23,2	21,9	10,7	14,7	119,2a	22,7	16,2	24,2	26,0	58,8a	22,2	17,8	21,8	22,5
PAC	0	23,5a	27,7	32,2	16,9	32,7	51,0b	20,8	22,7	29,2	31,2	25,3b	21,8	19,0	21,4	28,0
	100	41,5a	21,6	29,1	11,9	24,8	145,2a	29,1	25,8	29,8	32,1	75,9a	23,4	16,7	20,7	26,3
PVe	0	416,5a	337,0	362,2	354,8	360,7	215,6b	78,7	49,1	43,9	45,9	50,7b	18,6	14,0	16,1	21,2
	100	430,0a	371,7	370,9	317,2	320,2	324,9a	95,8	53,8	44,5	45,9	97,6a	21,2	16,3	16,1	20,3
PVA	0	179,1a	172,9	177,0	139,2	175,2	117,2b	25,8	21,0	28,8	32,8	34,2b	15,2	18,5	16,8	23,2
	100	208,3a	161,3	171,7	160,7	167,7	203,9a	39,1	24,1	28,3	36,1	75,2a	18,1	15,3	19,1	27,4
LA	0	41,0a	39,8	41,9	30,8	40,7	99,5b	26,5	21,1	29,1	30,4	36,6b	14,1	17,1	20,0	24,7
	100	57,8a	32,7	44,8	32,9	38,0	195,8a	39,8	22,5	27,1	29,3	92,0a	17,5	15,3	19,4	22,2
PVd	0	153,6a	132,8	143,3	115,0	115,5	105,0b	36,8	26,7	30,2	37,1	34,7b	13,3	15,0	15,8	23,4
	100	155,2a	120,3	132,3	108,6	103,6	190,3a	49,4	31,6	32,9	37,7	80,0a	15,6	13,5	15,3	24,2
Solos menos desenvolvidos																
RR	0	231,5a	206,5	207,1	168,0	189,9	95,3b	39,9	28,0	35,9	38,6	35,3b	16,8	16,9	22,6	30,6
	100	236,2a	211,1	205,3	66,0	193,2	188,2a	39,9	29,8	35,3	39,9	95,6a	18,6	16,3	23,3	37,5
RL	0	621,9a	623,2	691,1	449,1	427,9	114,9b	55,1	44,1	41,5	44,6	22,6b	12,7	14,4	18,4	21,7
	100	617,5a	643,4	672,6	450,9	406,0	186,4a	68,0	52,8	42,8	54,6	51,9a	13,3	16,2	16,5	23,6
TX	0	836,2a	701,5	778,1	671,7	787,9	317,3b	130,3	74,3	46,5	54,4	63,4b	21,4	17,9	13,0	17,5
	100	795,8a	682,1	748,6	662,4	747,2	411,6a	157,1	85,6	51,9	53,7	106,0a	28,5	18,3	14,1	18,3
SX	0	2176,9a	1973,8	2094,7	1946,7	2.052,2	113,3a	66,2	74,8	57,7	71,5	17,0a	13,3	17,3	13,6	19,3
	100	2040,6b	1961,9	2040,1	2039,3	1.809,8	113,7a	80,2	84,2	60,8	74,2	20,4a	15,9	17,3	13,6	19,3
RY	0	2136,1a	2151,4	2443,6	2102,7	2.363,7	252,1a	150,1	126,0	95,8	113,8	51,7b	27,6	27,5	22,5	26,2
	100	2099,9b	2285,8	2447,8	2194,9	2.223,9	288,3b	154,8	132,8	95,2	115,7	70,8a	28,4	26,7	20,9	27,8
VX	0	1268,6a	1114,7	1172,1	1210,1	1.188,7	527,5a	457,8	393,6	304,9	306,1	36,3a	11,6	12,6	14,7	22,0
	100	1241,6a	1048,2	1167,5	1099,5	1.166,2	566,8b	507,4	408,8	329,2	317,2	38,2a	16,4	15,5	15,2	18,2

⁽¹⁾ PA = Argissolo Amarelo; PAC = Argissolo Acizentado; PVe = Argissolo Vermelho Eutrófico; PVA = Argissolo Vermelho Amarelo; LA = Latossolo Amarelo; PVd = Argissolo Vermelho Distrófico; RR = Neossolo Regolítico; RL = Neossolo Litólico; TX = Luvisolo Háplico; SX = Planossolo Háplico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háplico. Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

consideravelmente com a adubação potássica, principalmente no grupo de solos mais desenvolvidos (Tabela 3). Os menores incrementos dos teores de Kt e Ks devido à adubação potássica foram verificados nos solos SX, RY e VX (Tabela 3), que são os solos menos desenvolvidos mais argilosos e com presença de mica e de outros minerais do tipo 2:1 como minerais predominantes na fração argila (Tabela 2). Essas características conferem maior poder tampão de potássio (PTK) a esses solos, ou seja, maior capacidade de manter constante a concentração de Ks após o solo receber uma adubação potássica.

A dose de K adicionada provocou maiores acréscimos nos teores de Kt do que nos teores de Ks dos solos (Tabela 3), indicando que a maior parte do K adicionado aos solos como fertilizante não passou para a forma não trocável (Knt) e nem permaneceu na forma solúvel (Ks) em concentrações elevadas, mas ficou adsorvida às cargas negativas dos colóides do solo na forma de potássio não trocável (Kt).

Os solos mais desenvolvidos, especialmente aqueles com baixa CTC e mais arenosos, como o PA e o PAC (Tabelas 1 e 2), e que apresentaram os menores teores de K em todas as formas, são mais susceptíveis à perda de K por lixiviação que os demais, devido à grande proporção de Ks em relação ao Kt e ao Knt (Tabela 3). Este fato é possível porque a caulinita, que predomina na fração argila desses solos apresenta baixa capacidade de adsorção de K, fazendo com que a maior parte do K permaneça na solução do solo (Chaves & Kinjo, 1987). Os solos PA e PAC são apontados por Santos et al. (2013) como solos com baixo PTK, o que indica que as adubações potássicas nesses solos devem ser feitas em doses menores e mais frequentes, de forma a minimizar as perdas de K por lixiviação e o consumo de luxo pelas plantas.

Entre os solos mais desenvolvidos, o solo PVe apresentou as maiores reservas de K (Tabela 3). Isto provavelmente se deve à presença de mica e de outros minerais do tipo 2:1 (Tabela 2) que, ao lado dos feldspatos potássicos, são os principais minerais do solo fontes de K (Medeiros et al., 2014). Por esses dados, infere-se que o PVe seria o solo mais desenvolvido estudado com maior potencial de suprimento de K para as plantas em médio e longo prazo.

De modo geral, os solos que apresentaram os maiores teores de Kt também apresentaram os maiores teores de Knt (Tabela 3). Essa relação entre as duas formas de K também foi observada por Rosolem et al. (2012) em Latossolo Vermelho do cerrado, no qual o K não trocável foi responsável, ao longo do tempo, pela manutenção dos teores de K trocáveis e, na ausência de adubação potássica, constituiu a principal fonte de K para as plantas. Nos solos, as formas de K não trocável, trocável e solúvel estão em equilíbrio dinâmico, de modo que qualquer alteração nos teores de K na solução do solo provocada pela adubação, absorção pelas plantas ou perda por lixiviação irá alterar os teores das demais formas desse elemento no solo, principalmente as formas trocável e solúvel (Medeiros et al., 2014).

Embora a análise mineralógica do solo PVA só tenha revelado a presença de caulinita e goethita como minerais predominantes na fração argila (Tabela 2), esse solo apresentou o segundo maior teor de Knt entre os solos mais desenvolvidos (Tabela 3). Isso vai de encontro à literatura, pois, nas condições tropicais brasileiras, a alteração dos feldspatos potássicos geralmente

origina a caulinita, resultando em pequena reserva de K nas frações mais grosseiras do solo, devido à sua liberação (Werle et al., 2008). Uma análise mineralógica mais detalhada neste solo, inclusive analisando também os minerais presentes nas frações areia e silte, poderá explicar melhor esse teor de Knt encontrado no solo PVA.

No grupo dos solos menos desenvolvidos, a mica e outros minerais do tipo 2:1 estão presentes na fração argila em todos os solos (Tabela 2), conferindo-lhes maiores teores de Knt e de Kt e, consequentemente, maior capacidade de suprimento de K para as plantas (Castilhos et al., 2002; Surapaneni et al., 2002). Ao contrário dos solos mais desenvolvidos, nos quais predomina a caulinita e a goethita, nos solos menos desenvolvidos os valores das relações Ks/Knt e Ks/Kt são menores (Tabela 3), devido ao maior PTK desses solos (Santos et al., 2013). Solos que possuem quantidades significativas de mica e outros minerais do tipo 2:1 em sua fração argila retêm fortemente o K, liberando-o lentamente para a solução (Chaves & Kinjo, 1987).

Os solos menos desenvolvidos mais argilosos (SX, RY e VX), os quais apresentam mica e outros minerais do tipo 2:1 como minerais predominantes da fração argila (Tabela 2), apresentam, segundo Santos et al. (2013), maior PTK entre os solos do presente estudo. Isso pode ser evidenciado pelo fato de que nesses solos os teores de Knt, Kt e Ks praticamente não se alteraram com a aplicação da dose de 100 mg dm⁻³ de K (Tabela 3). O PTK elevado do solo SX também é evidenciado pelo fato de este solo ter apresentado os menores teores de Ks ao longo dos cultivos, quando comparado aos demais solos (Tabela 3).

As Figuras 1 e 2 consideram os teores das formas de Knt e Kt iniciais para todos os solos iguais a 100%, a fim de poder compará-las entre si quanto à redução dessas formas ao longo dos cultivos. Nos solos mais desenvolvidos, os teores iniciais de K trocável diminuíram em aproximadamente 75% após o primeiro cultivo de milho, enquanto nos solos menos desenvolvidos esse valor variou de 30%, naqueles mais argilosos e com maior presença de minerais do tipo 2:1, a 62%, nos mais arenosos e com menor presença de minerais do tipo 2:1 (Figuras 1 e 2).

A maior diminuição no Kt observada na dose 100 mg dm⁻³ dos solos PA, PAC e RR (Figuras 1 e 2), que são os solos mais arenosos (Tabela 1), é devido ao incremento no Kt ocasionado por esta dose, que elevou os níveis de K desses solos de forma superior em relação aos solos mais argilosos. Esses solos, por possuírem baixo PTK, têm grandes variações nos teores de Kt em função da adubação potássica. De forma contrária, o solo VX, que é o mais argiloso (Tabela 1), teve a menor depleção relativa dos teores de Kt do primeiro para o segundo cultivo (Figura 2). A maior depleção dos teores de Kt nos solos, do primeiro para o segundo cultivo (Figuras 1 e 2), indica que o Kt é um bom índice para avaliar a capacidade de suprimento de K para as plantas em curto prazo. Por outro lado, a capacidade de suprimento de K para as plantas ao longo dos ciclos de cultivo é melhor avaliada por meio da medida do Knt (Figuras 1 e 2).

O conhecimento da disponibilidade imediata de K para as plantas, representada pelas formas trocável e solúvel, não é suficiente para se avaliar a capacidade de suprimento de K do solo para as plantas em médio e longo prazos. Nesse caso, é indispensável a avaliação de outras formas de K, como o K não trocável, que é considerada uma reserva de K de médio e

Figura 1. Depleção relativa dos teores de K não trocável e de K trocável ao longo dos cultivos, em função de doses (0 e 100 mg dm⁻³) de K adicionadas em solos mais desenvolvidos do Estado da Paraíba.

Figure 1. Depletion on the non-exchangeable K and exchangeable K content over the crops in function of doses (0 and 100 mg dm⁻³) of K added in more developed soils in Paraíba State.

Figura 2. Depleção relativa dos teores de K não trocável e de K trocável ao longo dos cultivos, em função de doses de K (0 e 100 mg dm⁻³) adicionadas em solos menos desenvolvidos do Estado da Paraíba.

Figure 2. Depletion on the non-exchangeable K and exchangeable K content over the crops in function of doses (0 and 100 mg dm⁻³) of K added in less developed soils in Paraíba State.

longo prazo para as plantas. No contexto de cultivos sucessivos do solo, sem adubação potássica, as formas não trocáveis de K podem manter estáveis os teores de Kt do solo, mas, se essa situação se mantiver por longos períodos, pode haver um esgotamento do solo em K e, conseqüentemente, as plantas cultivadas comecem a manifestar sintomas de deficiência de K e diminuição da produtividade (Rosolem et al., 2012).

Nos solos menos desenvolvidos, também se observa maior depleção relativa do K na forma trocável (Figura 2). A menor depleção foi observada nos solos TX, SX, RY e VX, que são os mais argilosos (Tabela 2) e apresentam as maiores reservas de Knt (Tabela 3). Devido a esses fatores, esses são os solos que possuem alta resistência ao esgotamento de K e maior capacidade de suprimento de K para as plantas, quando submetidos a cultivos sucessivos. Os solos RY e VX também possuem maiores teores de silte, que é uma fração granulométrica do solo considerada boa fonte de K (Marchi et al., 2012).

Nos solos em que foi aplicada a dose 100 mg dm⁻³, se observa maior depleção no teor de Kt nos solos RR e RL, que são os solos menos desenvolvidos mais arenosos e possuem os menores teores de Knt (Tabela 3). O solo RR, dentre os menos desenvolvidos, é o que apresenta a maior depleção relativa de Kt na dose 100 mg dm⁻³, sendo o mais arenoso do grupo. Essa tendência é verificada nos demais solos, em que os mais arenosos (RR, RL e TX) apresentam as maiores diminuições na forma trocável, enquanto os mais argilosos (SX, RY e VX) apresentam as menores diminuições, uma vez que os solos argilosos possuem maior CTC (Tabela 1) e maiores reservas de Kt e Knt (Tabela 3).

Muito embora a textura seja uma característica dos solos capaz de agrupá-los quanto à capacidade de suprimento de K, é importante considerar outras características dos solos a fim de melhorar a predição da disponibilidade de K para as plantas, como os teores de Kt e Knt e a mineralogia das frações silte e argila (Kirkman et al., 1994; Ghosh & Singh, 2001; Chiba et al., 2008). Como a CTC do solo está relacionada diretamente a esses fatores e é calculada rotineiramente nos laboratórios de fertilidade do solo, vários autores têm sugerido o agrupamento dos solos segundo faixas de CTC como forma de melhorar a predição da disponibilidade de K para as plantas, oferecendo, em curto prazo, uma perspectiva para a melhoria das recomendações de adubação potássica (Villa et al., 2004; Kaminski et al., 2007).

4 Conclusões

1. Os solos menos desenvolvidos mais argilosos e com predominância de minerais do tipo 2:1 na fração argila apresentaram maior capacidade de suprimento de K para as plantas de milho ao longo de quatro cultivos sucessivos, enquanto os solos arenosos mais desenvolvidos com predominância de caulinita e goethita na fração argila apresentaram menor capacidade de suprimento de K para as plantas de milho.

Referências

- ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5. ed. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- ALVES, M. T. J.; MELO, V. F.; REISSMANN, C. B.; KASEKER, J. F. Reserva mineral de potássio em Latossolo cultivado com *Pinus taeda*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 6, p. 1599-1610, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600016>.
- BRASIL. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba*. Rio de Janeiro: SUDENE, 1972. 683 p.
- CABBAU, A. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; ANDRADE, A. T.; LIMA SOBRINHO, R. R. Resposta e níveis críticos de potássio para o arroz cultivado em solos de várzea inundados. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 1, p. 75-86, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000100010>.
- CASTILHOS, R. M.; MEURER, E. J.; KÄMPF, N.; PINTO, L. F. S. Mineralogia e fontes de potássio em solos no Rio Grande do Sul cultivados com arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 3, p. 579-587, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300002>.
- CHAVES, L. H. G.; KINJO, T. Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semi-árido brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 11, n. 3, p. 257-261, 1987.
- CHIBA, M. K.; NATALE, W.; CRUZ, M. C. P.; TEIXEIRA, L. A. J.; CENTURION, J. F. Potássio nas frações texturais de um Latossolo. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v. 30, n. 4, p. 581-587, 2008. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5321>.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). *Manual de métodos de análises de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FARIAS, D. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba: I. disponibilidade de fósforo para plantas de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 3, p. 633-646, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300016>.
- GHOSH, B. N.; SINGH, R. D. Potassium release characteristics of some soils of Uttar Pradesh hills varying in altitude and their relationship with forms of soil K and clay mineralogy. *Geoderma*, v. 104, n. 1, p. 135-144, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00078-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00078-7).
- HELMKE, P. A.; SPARKS, D. L. Lithium, sodium, rubidium and cesium. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: SSSA/ASA, 1996. p. 551-574.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 1003-1010, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500017>.

- KIRKMAN, J. H.; BASKER, A.; SURAPANENI, A.; MACGREGOR, A. N. Potassium in the soils of New Zealand: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 37, n. 2, p. 207-227, 1994. <http://dx.doi.org/10.1080/00288233.1994.9513059>.
- MARCHI, G.; SILVA, V. A.; GUILERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; NOGUEIRA, F. S.; GUIMARÃES, P. T. G. Potassium extractability from soils of Brazilian coffee regions. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 6, p. 913-919, 2012.
- MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S.; FONTES, M. P. F. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do Estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 1, p. 183-194, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100019>.
- MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 2, p. 417-426, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000200025>.
- ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 5, p. 1507-1515, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500015>.
- RUPA, T. R.; SRIVASTAVA, S.; SWARUP, A.; SINGH, D. Potassium supplying power of a Typic Ustochrept profile using quantity/intensity technique in a long term fertilized plot. *The Journal of Agricultural Science*, v. 137, n. 2, p. 195-203, 2001. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859601001216>.
- SANTOS, H. C.; OLIVEIRA, F. H. T.; HOFFMANN, R. B.; SANTOS, D. Relações quantidade/intensidade de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba - Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 56, n. 4, p. 338-346, 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.051>.
- SURAPANENI, A.; PALMER, A. S.; TILLMAN, R. W.; KIRKMAN, J. H.; GREGG, P. E. H. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. *Geoderma*, v. 110, n. 3, p. 191-204, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00230-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00230-6).
- TAIWO, A. A.; ADETUNJI, M. T.; AZEEZ, J. O.; BAMGBOSE, T. Potassium supplying capacity of some tropical Alfisol in southwest Nigeria as measured by intensity, quantity and capacity factors. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 86, n. 3, p. 341-355, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-009-9296-1>.
- VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS, J. S. Contribution of non exchangeable potassium forms and its accumulation in corn plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 9-15, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p9-15>.
- VILLA, M. R.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Formas de potássio e sua disponibilidade para o feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 4, p. 649-658, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000400007>.
- 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*, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009>.
- ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture: status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014. PMID:24140002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>.

Contribuição dos autores: Montesquieu da Silva Vieira: Execução do experimento, escrita científica; Fábio Henrique Tavares de Oliveira: Escrita científica, análises estatísticas; Hemmannuella Costa Santos: Escrita científica, análises estatísticas; Jailma dos Santos de Medeiros: Execução do experimento, escrita científica.

Fonte de financiamento: CNPQ, bolsa.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.