



ARTIGO ORIGINAL

Hemmannuella Costa Santos^{1*}
Fábio Henrique Tavares de Oliveira²
Ricardo Bezerra Hoffmann³
Djail Santos⁴

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Campus III, 58220-000, Bananeiras, PB, Brasil
²Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil
³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre – IFAC, 69930-000, Xapuri, AC, Brasil
⁴Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 58397-000, Areia, PB, Brasil

Autor Correspondente:

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

PALAVRAS-CHAVE

Disponibilidade de K
Latosolo
Luvissolo
Neossolo
Poder tampão de K

KEYWORDS

Potassium availability
Latosol
Alfisol
Entisol
Potassium buffering capacity

Relações quantidade/intensidade de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba - Brasil

Potassium quantity-intensity relationships in representative soils of Paraíba State - Brazil

RESUMO: O conhecimento da relação quantidade/intensidade (Q/I) de potássio (K) é mais uma informação importante para avaliação da disponibilidade desse elemento no solo. Objetivou-se com este experimento avaliar a disponibilidade de K em solos representativos do Estado da Paraíba, por meio das curvas Q/I, e correlacionar essa disponibilidade com características químicas desses solos. Agitaram-se, em frascos de Erlenmeyer, amostras dos solos com solução de CaCl_2 2 mmol L^{-1} e teores de K variando de 0 a 60 mg L^{-1} , deixando-se em repouso por duas horas, para posterior determinação do K. Os parâmetros da relação Q/I foram calculados a partir de regressão linear e indicaram que os solos estudados, especialmente aqueles com menor grau de desenvolvimento pedogenético, tem o K adsorvido na forma preferencial, diminuindo os teores do elemento em solução. Além disso, os solos Planossolo Háplico, Neossolo Flúvico e Vertissolo Háplico possuem altos valores de poder tampão, o que possibilita manutenção do teor de K na solução do solo. Os teores de argila, CTC e K trocável no solo apresentaram correlação com o poder tampão de K.

ABSTRACT: *The knowledge of potassium quantity-intensity (Q/I) relationships constitutes important information to evaluate potassium (K) availability in soils. In this study, we aimed to evaluate K availability in Paraíba state soil by Q/I relationships and its relation with the chemical characteristics of these soils. Soil samples were agitated in Erlenmeyer flasks with 2 mmol L^{-1} CaCl_2 solution and K solution varying from 0 to 60 mg L^{-1} ; the mixture was then put to rest for 2 hours for determination of potassium levels. Quantity-intensity parameters were calculated by linear regression and results showed that soils in the present study, especially the less weathered ones, presented low levels of K in soil solution. In addition, Haplic Planosol, Fluvic Neosol and Haplic Vertisol present high potassium buffering capacity, which allows potassium supply in soil solution. Potassium buffering capacity correlated with clay and silt content, cation exchange capacity (CEC), and exchangeable potassium.*

1 Introdução

Entre os diversos fatores que influenciam a disponibilidade de potássio (K) para as plantas, estão: a quantidade de potássio trocável (Q) e a quantidade de potássio em solução (I); a mineralogia do solo; a CTC; a textura do solo; a umidade do solo; o poder tampão de K, e o grau de desenvolvimento pedogenético do solo (MIELNICZUK, 1978; CHAVES; KINJO, 1987; SILVA et al., 2000). Em geral, utilizam-se apenas os dados de K trocável para recomendação de adubação para determinada cultura; no entanto, o K trocável pode não ser um bom indicador da disponibilidade de K para as plantas, especialmente em solos com minerais micáceos (ABASLOU; ABTAHI, 2008), já que esses minerais constituem a maior fonte de K nos solos, sendo responsáveis pelo controle de sua disponibilidade (TAIWO; ADENTUNJI; AZEEZ, 2010).

Em longo prazo, a disponibilidade de K para as plantas é avaliada por meio do conhecimento da reserva total de K no solo, representada por K estrutural, K não trocável, K trocável e K solução (PREZOTTI; DEFELIPO, 1987). Já para a avaliação da disponibilidade imediata de K para as plantas, utilizam-se curvas que relacionam o K trocável, 'fator quantidade' (Q), com o K em solução, 'fator intensidade' (I), no solo (BECKETT, 1964).

A vantagem das curvas Q/I consiste na avaliação, em apenas um gráfico, de vários fatores que interagem na absorção de K pelas plantas, especialmente o poder tampão de K, que, usualmente, não é obtido por métodos de rotina e pode ser encontrado pela inclinação da porção linear da curva Q/I (BECKETT, 1964). A principal desvantagem apresentada pelo sistema é a necessidade de equilibrar mais de uma subamostra para que se possa estabelecer a curva.

Algumas modificações foram feitas na metodologia original proposta por Beckett (1964) para facilitar sua execução, como: a utilização da concentração de K, Ca e Mg em vez da atividade desses íons, para descrever o fator intensidade de K na presença de Ca e Mg (MIELNICZUK, 1978; CHAVES; KINJO, 1987; WANG; HARREL; BELL, 2004; SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009); a partição da curva Q/I, que permite explicitar mudanças de K associadas à baixa disponibilidade de K trocável e não trocável (WANG; HARREL; BELL, 2004), e a utilização de períodos de equilíbrio mais curtos, em vez das 18 horas utilizadas na metodologia original (LE ROUX; SUMNER, 1968; WANG; SCOTT, 2001).

Embora não sejam determinadas em análises de rotina, as curvas Q/I são utilizadas para descrever a disponibilidade de K no solo, levando em consideração a competição entre os íons de K, Ca e Mg pelos sítios de troca no solo (LIN, 2011), sendo importante procurar relações entre propriedades dos solos determinadas em análises de rotina e os parâmetros da curva (JIMENEZ; PARRA, 1991). Assim, ao se conhecer o valor de uma característica do solo que se correlaciona com um ou mais parâmetros da curva Q/I, indiretamente pode-se ter uma ideia da grandeza desses parâmetros da curva Q/I.

Solos pouco desenvolvidos pedogeneticamente e mais argilosos, como observados na região semiárida do Brasil, e ricos em minerais do tipo 2:1 têm no K não trocável a principal fonte de K para a nutrição das plantas, apresentando

maior capacidade de suprimento do potássio em cultivos sucessivos do que aqueles solos arenosos e mais desenvolvidos pedogeneticamente, nos quais predominam a caulinita e a goetita. Os solos da região semiárida do Brasil, pela natureza de seus materiais de origem, pelas suas condições de drenagem e pela baixa precipitação a que estão sujeitos, contêm, de modo geral, minerais de argila do grupo 2:1, que apresentam sítios de adsorção específicos para K (CHAVES; KINJO, 1987), diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

Os solos paraibanos, em sua maioria, são pouco desenvolvidos pedogeneticamente, predominando os Neossolos. No entanto, também ocorrem grandes áreas com solos bem desenvolvidos pedogeneticamente, a exemplo dos Latossolos e Argissolos (BRASIL, 1972). Esses solos possuem diferentes disponibilidades de K, que não são detectadas em análises de solo de rotina, prejudicando os programas de adubação no Estado. Apesar de vários trabalhos terem sido desenvolvidos no Brasil e no exterior para determinação das relações Q/I de K (PREZOTTI; DEFELIPO, 1987; SILVA et al., 2000; RUPA et al., 2001; ABASLOU; ABTAHI, 2008; ESTRADA et al., 2010), para os solos do Estado da Paraíba, no nordeste do Brasil, raros são os trabalhos encontrados, a exemplo de Chaves e Kinjo (1987); note-se que é importante a determinação desses dados para o correto desenvolvimento de programas de adubação potássica em solos da região, além de prevenir a poluição causada pelo excesso do nutriente aplicado ao solo (LIN, 2011).

Diante do exposto e tendo em vista que vários fatores interferem na disponibilidade de K para as plantas, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a disponibilidade de K em solos do Estado da Paraíba, por meio das curvas Q/I de K, e avaliar quais características químicas desses solos se relacionam com essa disponibilidade.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, município de Areia-PB.

Os solos utilizados foram classificados por Brasil (1972), enquadrando-se na nova classificação proposta pela Embrapa (2006), como 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 Háptico (TX); Planossolo Háptico (SX); Neossolo Flúvico (RY), e Vertissolo Háptico (VX), sendo coletados na camada de 0 a 30 cm. As características químicas, físicas e mineralógicas dos solos, determinadas conforme Donagema et al. (2011), são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Foram preparadas 11 suspensões 'solo:solução' para cada amostra de solo. Seis delas continham 3,0 g de solo e 30 mL de uma solução inicial de CaCl_2 2 mmol L^{-1} contendo 5, 10, 15, 25, 40 e 60 mg L^{-1} de K, na forma de KCl. Nas outras cinco suspensões, foram colocados 0,75, 1,50, 2,25, 3,0 e 3,0 g de solo, e adicionaram-se 30 mL de uma solução de CaCl_2 2 mmol L^{-1} sem adicionar K. Essas soluções iniciais

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

Solo ⁽²⁾	pH	CO ⁽⁵⁾	P	K ⁺ trocável ⁽³⁾	K não trocável ⁽³⁾	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(H+Al)	CTC pH 7,0	K ⁺
	(H ₂ O)	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³									
Solos mais desenvolvidos ⁽⁴⁾													
PA	5,9	0,35	1,52	0,064	0,016	0,04	0,60	0,40	0,02	0,11	1,68	2,74	3,41
PAC	4,4	1,07	3,59	0,109	0,031	0,10	0,80	0,60	0,05	0,96	5,67	7,20	3,98
PVe	6,3	0,90	6,80	0,609	0,947	0,39	5,40	1,80	0,04	0,0	2,75	10,38	5,11
PVA	5,5	1,07	2,63	0,280	0,357	0,24	1,10	1,30	0,04	0,32	5,50	8,18	8,00
LA	5,9	0,59	11,42	0,236	0,059	0,18	1,60	1,15	0,11	0,0	2,14	5,18	5,92
PVd	5,0	0,80	2,32	0,245	0,257	0,19	1,90	0,80	0,04	0,32	4,28	7,20	5,84
Solos menos desenvolvidos ⁽⁴⁾													
RR	7,0	0,34	24,1	0,214	0,539	0,18	1,80	0,90	0,02	0,0	1,07	3,97	6,20
RL	6,2	0,38	4,31	0,286	1,643	0,19	2,00	1,10	0,25	0,05	2,29	5,83	5,29
TX	6,2	0,76	4,35	1,045	2,180	0,64	6,10	4,00	0,10	0,0	2,90	13,74	5,90
SX	7,2	0,43	21,58	0,257	5,250	0,21	12,20	5,60	0,30	0,0	1,53	19,84	1,14
RY	7,3	0,89	144,3	0,779	6,979	0,60	11,00	4,00	0,09	0,0	1,22	16,91	3,82
VX	8,4	0,37	19,77	1,683	2,885	0,69	29,10	10,40	2,19	0,0	0,76	43,13	1,62

⁽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 Háptico; SX: Planossolo Háptico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háptico. ⁽³⁾Medeiros et al. (2010). ⁽⁴⁾Solos mais desenvolvidos: Ki ≤ 2,46; Solos menos desenvolvidos: Ki ≥ 2,46. ⁽⁵⁾%K = (K/CTCefetiva)*100. ⁽⁶⁾CO: Carbono orgânico.

foram agitadas horizontalmente com o solo por uma hora; filtrou-se o sobrenadante após duas horas de repouso para posterior determinação do K por fotometria de chama, sendo que o Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, na solução final após o equilíbrio. Todas as determinações foram realizadas em triplicatas.

Os parâmetros da relação Q/I foram calculados conforme metodologia descrita em Mielniczuk (1978). A quantidade de potássio adsorvida ou liberada em cada solo, ΔK, foi obtida pela mudança na concentração de K na solução (diferença entre a concentração inicial e final de K na solução de equilíbrio), sendo proporcional à quantidade de K trocável e usada como medida do parâmetro quantidade (Q). O quociente de concentração de K (QCK), que corresponde ao parâmetro intensidade (I), foi calculado pela relação de concentração dada pela Equação 1 (CHAVES; KINJO, 1987; SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009):

$$QCK = K/(Ca+Mg)^{1/2} \quad (1)$$

em que K, Ca e Mg correspondem às concentrações desses elementos na solução final após o equilíbrio.

A curva Q/I foi obtida plotando-se num gráfico QCK (I) versus ΔK (Q). A partir do ajuste de uma equação de regressão linear, foram determinados os valores do quociente de concentração de equilíbrio (QCKe), que corresponde ao QCK quando ΔK = 0. O Ke, que é a concentração de equilíbrio do K na solução do solo em função da quantidade de K trocável que contém, é dado pela Equação 2:

$$Ke = QCKe \times (Ca+Mg)^{1/2} \quad (2)$$

em que: QCKe = concentração de equilíbrio, quando o ΔK = 0; (Ca+Mg) = concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ na solução final após o equilíbrio.

O poder tampão de potássio, PTK, foi encontrado pela declividade da porção linear da reta Q/I e o K planar, correspondente ao K adsorvido nos pontos planares; é relacionado ao QCKe pela Equação 3:

$$K_{plan} = QCKe \times PTK \quad (3)$$

em que: QCKe = concentração de equilíbrio, quando o ΔK = 0; PTK = poder tampão de K.

Para se obter o K em equilíbrio com a solução, ajustou-se equação de regressão do tipo quadrática aos pontos obtidos sem adição de K na solução inicial e com redução na quantidade de solo, sendo o valor do K em equilíbrio aquele quando o QCK = 0, ou seja, o intercepto da região curva da figura ao eixo ΔK. Pela diferença entre o K planar e o K em equilíbrio com a solução, obteve-se o K preferencial (VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004).

As análises de regressão foram feitas utilizando-se o pacote estatístico SAEG (2007) e os parâmetros das curvas Q/I foram correlacionados com algumas características dos solos.

3 Resultados e Discussões

Os solos estudados apresentam ampla variação nas características químicas e físicas (Tabelas 1 e 2), cujas diferenças estão relacionadas com o material de origem dos solos e o desenvolvimento pedogenético.

De maneira geral, os solos apresentam curvatura típica da relação quantidade/intensidade de potássio (Figuras 1 e 2), ou seja, curvatura na parte inferior e linear na parte superior, como observado por outros autores (BECKETT, 1964; LE ROUX; SUMNER, 1968; CHAVES; KINJO, 1987; JIMENEZ; PARRA, 1991; SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009), exceto os solos Planossolo Háptico

Tabela 2. Classe de solo⁽¹⁾, material de origem⁽²⁾, análise textural⁽³⁾ e localização de coleta dos solos representativos do Estado da Paraíba.

Solo	Município de coleta	Material de origem ⁽²⁾	Formação geológica e litologia ⁽²⁾	Precipitação mm	Textura			Minerais ⁽⁴⁾	Ki ⁽²⁾
					Areia	Silte	Argila		
Solos mais desenvolvidos ⁽⁵⁾									
PA	Jacumã	Sedimentos arenoargilosos	Terciário/ Grupo Barreiras	1500	88	3	9	Ct, Gb, Gt	1,72
PAC	Mamanguape	Sedimentos argilosos-arenosos	Terciário/ Grupo Barreiras	1600	84	4	12	Ct, Gt	1,92
PVe	Marizópolis	Saprolito da rocha e material transportado	Granito metassomático	600	58	24	18	Ct, Gt, Mi, (2:1)	2,11
PVA	Areia	Saprolito da rocha e material transportado	Pré-Cambiano (CD)/ Biotita-gnaiss	900	66	11	23	Ct, Gt	2,46
LA	Cuité	Sedimentos argiloarenosos e argilosos	Terciário/ Sedimentos da Série Serra do Martins	600	65	6	29	Ct, Gt	2,16
PVd	Alagoa Grande	Saprolito da rocha com material pseudoautóctone no desenvolvimento do horizonte A	Pré-Cambiano (CD)/ Hornblenda-biotita-gnaiss	1200	49	13	38	Ct, Gt, Mi, Hm	2,25
Solos menos desenvolvidos ⁽⁵⁾									
RR	Esperança	Saprolito do migmatito	Migmático (embrechito facoidal)	800	89	8	3	Ct, Mi, Qz, (2:1)	2,17
RL	Pocinhos	Saprolito do gnaiss	Pré-Cambiano/ Gnaiss	650	81	11	8	Mi, Ct, (2:1)	2,93
TX	São Miguel de Taipu	Saprolito da rocha com material pseudoautóctone no desenvolvimento do horizonte A	Pré-Cambiano (CD)/ Hornblenda-gnaiss	700	67	19	14	Ct, Mi, (2:1), Fp	3,42
SX	Cuité	Saprolito da rocha gnaiss com biotita e Hornblenda e material pseudoautóctone	Pré-Cambiano (CD)/ Gnaiss com Biotita e Hornblenda	600	64	17	19	(2:1), Mi, Ct, Gt	4,21
RY	Sousa	Sedimentos arenoargilosos	Pré-Cambiano/ Arenitos e folhelhos	700	45	35	20	Mi, Ct,, (2:1)	3,20
VX	Sousa	Folhelhos e argilitos calcíferos	Cretáceo/ Sedimentos da Série Rio do Peixe	700	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⁾Donagema et al. (2011). ⁽⁴⁾Ct: caulinita; Gb: gibsitita; 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: $K_i \leq 2,46$; Solos menos desenvolvidos: $K_i \geq 2,46$; ($K_i = SiO_2/Al_2O_3$).

e Vertissolo Háplico, que não apresentaram curvatura na parte inferior do gráfico. A ausência de curvatura também foi observada por Al-Kanani, Barthakur e Hussein (1991) em solos calcáreos do Iraque, não sendo claro para os autores o motivo dessa ausência. Esse fato pode ter ocorrido devido à menor saturação por K apresentada por esses solos (Tabela 1).

Os solos estudados apresentam mais da metade dos valores de ΔK negativos (Figuras 1 e 2), exceto o Planossolo Háplico e

o Vertissolo Háplico. Esses valores negativos de ΔK , segundo Saleque, Anisuzzaman e Moslehuddin (2009), indicam altos valores de K lábil, especificamente uma grande liberação de K em solução, resultando numa grande reserva de K lábil no solo, que ficará disponível dependendo do balanceamento entre os cátions presentes na solução do solo, especialmente Ca e Mg, e das perdas de K, seja por absorção pelas plantas ou por lixiviação.

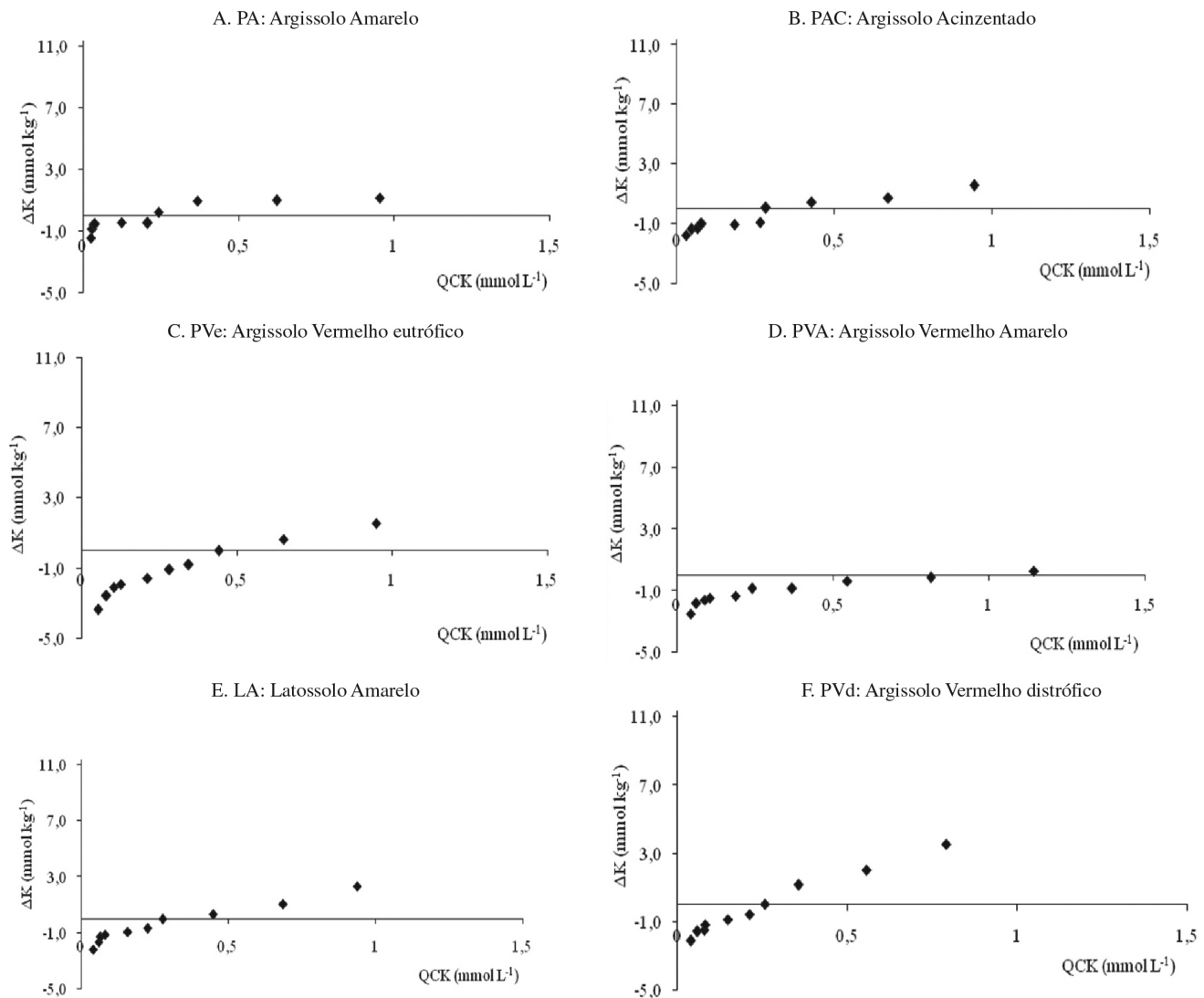


Figura 1. Curvas representativas da relação quantidade/intensidade de potássio de Argissolos e Latossolos.

Os quocientes de concentração de equilíbrio (QCKe) variaram de 0,06 a 0,87 $\text{mmol L}^{1/2}$ (Tabela 3), sendo os maiores valores observados nos solos Argissolo Vermelho Amarelo e Luvisso Háplico, indicando maior disponibilidade de K na solução desses solos; note-se que ocorre o contrário nos solos Planossolo Háplico e Vertissolo Háplico. Solos com QCKe e K_e mais elevados geralmente possuem poder tampão relativamente baixos (CHAVES; KINJO, 1987), como observado nos solos Argissolo Vermelho Amarelo e Luvisso Háplico do presente estudo, o que garante maior proporção de K na solução do solo em relação ao K na fase sólida, cujo suprimento também dependerá da taxa de reposição.

Os valores do poder tampão de K variaram de 1,30 a 84,51 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$, sendo os solos que apresentaram os maiores valores: Vertissolo Háplico, Planossolo Háplico e Neossolo Flúvico, com valores de 84,51; 41,65 e 11,77 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$, respectivamente. Já os menores valores foram observados nos solos Neossolo Regolítico e Argissolo Vermelho Amarelo, com 1,30 e 2,09 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$, respectivamente.

Altos valores de poder tampão de K, como observados nos solos Planossolo Háplico e Vertissolo Háplico (Tabela 3), são indicativos de constante suprimento de K na solução do solo, por longos períodos (SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009), ou seja, esses solos têm reserva de K suficiente para repor o K utilizado pelas culturas ao longo dos cultivos (TAIWO; ADENTUNJI; AZEEZ, 2010).

Os solos que possuem alto poder tampão de K têm capacidade de manter constantes os teores de K na solução do solo, seja por meio de adsorção específica + adsorção não específica, quando se aduba com K, ou por meio de dessorção, que repõe o K na solução do solo, quando esse elemento é perdido do solo por lixiviação ou absorvido pela planta. Os solos com alto poder tampão de K e baixo valor de K solução, como observado nos solos Planossolo Háplico e Vertissolo Háplico (Tabela 3), não indicam necessariamente que a planta vai absorver pouco K, pois a fase sólida repõe o K da solução quando este é absorvido pela planta ou lixiviado.

Já em solos com menor poder tampão de K, como os solos Neossolo Regolítico e Argissolo Vermelho Amarelo,

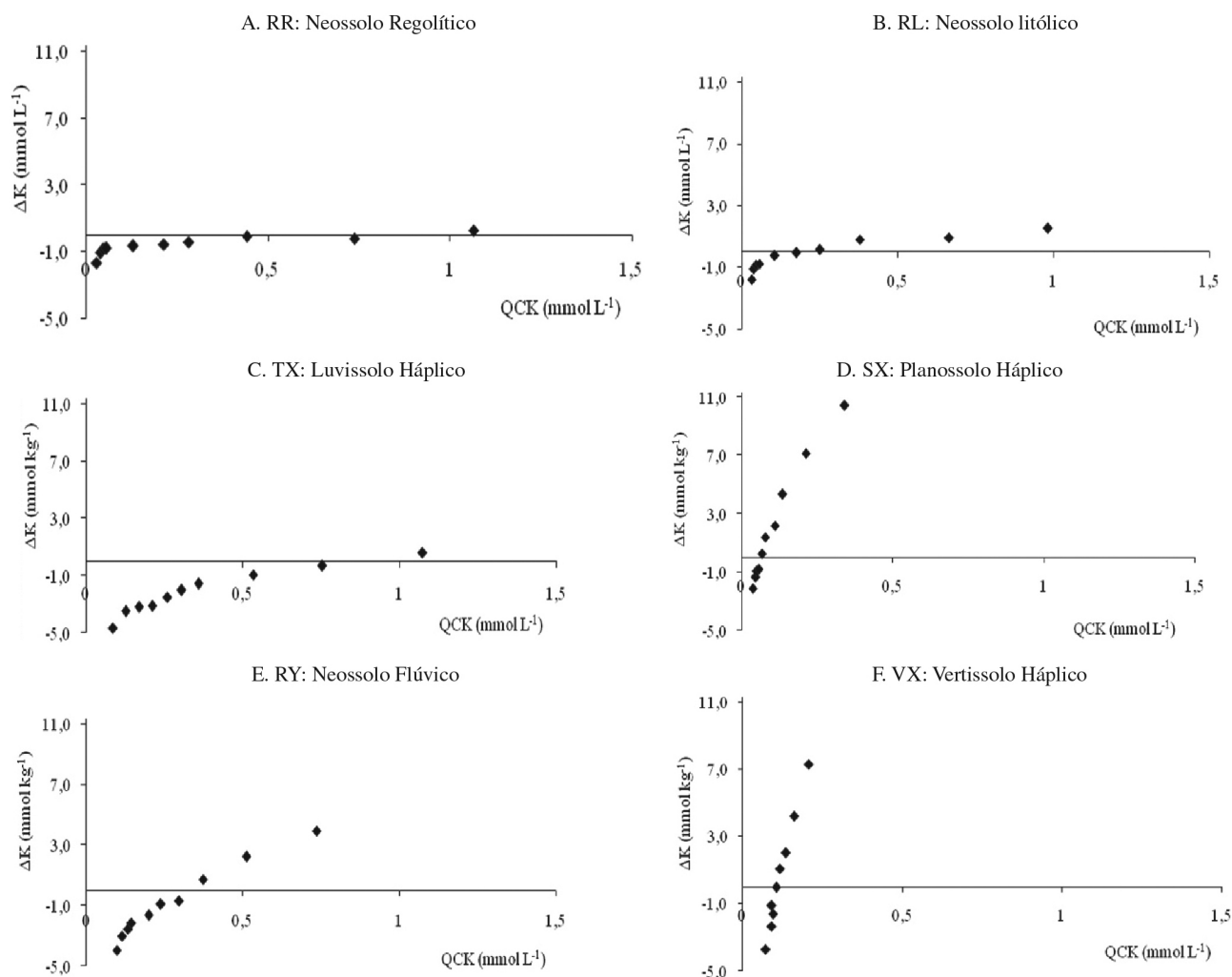


Figura 2. Curvas representativas da relação quantidade/intensidade de potássio de Neossolos, Luvisolos, Planossolos e Vertissolos.

Tabela 3. Parâmetros quantidade-intensidade (Q/I) de 12 solos representativos do Estado da Paraíba.

Solo ⁽¹⁾	QCKe ⁽²⁾	Kc ⁽³⁾	PTK ⁽⁴⁾	Kp ⁽⁵⁾	KE ⁽⁶⁾	Kpr ⁽⁷⁾
	mmol L ^{1/2}	mmol L ⁻¹	(mmol kg ⁻¹)/ (mmol L ^{1/2})		mmol kg ⁻¹	
Solos mais intemperizados						
PA	0,31	0,4593	2,49	0,7719	12,54	11,7681
PAC	0,43	0,5793	3,44	1,4792	2,39	0,9108
PVe	0,55	0,7995	5,07	2,7885	6,01	3,2215
PVA	0,87	1,1107	2,09	1,8183	4,83	3,0117
LA	0,39	0,5135	4,36	1,7004	4,20	2,4996
PVd	0,27	0,3999	7,24	1,9548	3,88	1,9252
Solos menos intemperizados						
RR	0,76	1,0762	1,30	0,9880	5,54	4,5520
RL	0,32	0,4779	2,84	0,9088	8,82	7,9112
TX	0,82	1,1392	4,84	3,9688	8,59	4,6212
SX	0,06	0,0832	41,65	2,4990	10,21	7,7110
RY	0,35	0,5301	11,77	4,1195	12,17	8,0505
VX	0,11	0,1377	84,51	9,2961	29,52	20,2239

⁽¹⁾RR = Neossolo Regolítico; RL = Neossolo Litólico; PAC = Argissolo Acinzentado; RY = Neossolo Flúvico; PA = Argissolo Amarelo; LA = Latossolo Amarelo; TX = Luvisolo Háplico; SX = Planossolo Háplico; PVA = Argissolo Vermelho Amarelo; PVe = Argissolo Vermelho eutrófico; PVd = Argissolo Vermelho distrófico; VX = Vertissolo Háplico - Embrapa (2006); ⁽²⁾Quociente de concentração de equilíbrio; ⁽³⁾concentração de equilíbrio do K na solução do solo; ⁽⁴⁾Poder tampão de K; ⁽⁵⁾K planar; ⁽⁶⁾K em equilíbrio; ⁽⁷⁾K preferencial.

as adubações potássicas devem ser feitas em doses menores e mais frequentes, de forma a minimizar as perdas de K por lixiviação e até mesmo o consumo de luxo pelas plantas (PREZOTTI; DEFELIPO, 1987; SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009; SILVA et al., 2000); além disso, cultivos sucessivos esgotariam a reserva de K nesses solos, especialmente no solo Neossolo Regolítico por ser muito arenoso (Tabela 2), característica que favorece a lixiviação do K.

Na literatura, os valores do poder tampão de potássio são muito variáveis. Silva et al. (2000) observaram em Latossolos de Minas Gerais poder tampão de K entre 4,47 e 5,67 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$; já em solos de várzea do mesmo Estado, o poder tampão de K variou entre 4,2 e 11,0 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$ (VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004). Estudando solos calcáreos do Iraque, Al-Kanani, Barthakur e Hussein (1991) observaram poder tampão de K variando de 93 a 380 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$ e, em solos de várzea do Rio Ganges, em Bangladesh, o poder tampão de K variou entre 368 e 393 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$ (SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009). É importante ressaltar que os solos do Iraque e de Bangladesh apresentaram pH acima de 7,0, evidenciando que a CTC do solo influencia o poder tampão de K dos solos assim como a presença de argilas 2:1 e a quantidade de K não trocável (RUPA et al., 2001).

Prezotti e Defelipo (1987) ressaltam a dificuldade de se comparar o poder tampão de K entre solos em razão da grande diversidade de metodologia na caracterização do K no solo, especialmente no que se refere à grande variação das soluções de referência; além disso, não há um consenso sobre quais valores são considerados altos para o poder tampão de K, haja vista que Silva et al. (2000) consideraram o poder tampão de K de um Latossolo do Estado de Minas Gerais, de 5,67 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$, alto, mas esse valor é baixo, se comparado ao poder tampão de K do Vertissolo Háplico do presente estudo, de 84,51 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$. Este, por sua vez, é baixo em relação ao poder tampão de K de solos calcáreos do Iraque, de 380 $\text{mmol kg}^{-1}/(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$ (SALEQUE; ANISUZZAMAN; MOSLEHUDDIN, 2009). Dessa forma, fazem-se necessários mais estudos para a definição de valores de poder tampão de K, para então considerá-los altos ou baixos.

De maneira geral, os solos estudados no presente trabalho apresentaram maior proporção de K adsorvido na posição preferencial (Tabela 3): Argissolo Amarelo (94%), Argissolo Vermelho Amarelo (62%), Neossolo Regolítico (82%), Neossolo Litólico (89%), Planossolo Háplico (75%), Neossolo Flúvico (66%) e Vertissolo Háplico (68%), que é representado pela região curva do gráfico. O destaque vai para os solos Planossolo Háplico e Vertissolo Háplico, que, apesar de não terem apresentado região curva no gráfico (Figura 2), têm K adsorvido na posição preferencial.

Os solos Argissolo Vermelho eutrófico, Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho distrófico e Luvisso Háplico apresentaram equilíbrio na proporção de K adsorvido nas posições planar e preferencial, enquanto que, no Argissolo Acimentado (61%), a predominância foi do K ser adsorvido na posição planar (Tabela 3).

Quando um solo apresenta a maior parte do K sujeito a entrar em equilíbrio com a solução na posição preferencial, caso dos solos estudados, haverá menor teor de K em solução, uma vez que o K adsorvido na posição preferencial não é o responsável imediato pela manutenção do K em solução e sim o K adsorvido da posição planar (CHAVES; KINJO, 1987; VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004).

No entanto, caso um solo apresente altos teores de Ca na solução do solo, mesmo que tenha maior quantidade de K adsorvido na posição preferencial, esse K será disponibilizado para as plantas, já que a alta concentração de Ca na solução do solo favorecerá sua troca com o K adsorvido no solo. O fato de o Neossolo Regolítico apresentar o menor poder tampão de K torna sua utilização para agricultura preocupante, pois se o K for absorvido pelas plantas em cultivos sucessivos e nenhuma aplicação de K for realizada, as plantas poderão sofrer deficiência desse nutriente (VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004), na medida em que sua reserva de K rapidamente se esgotaria. Já os solos Argissolo Vermelho eutrófico, Argissolo Vermelho distrófico, Latossolo Amarelo e Luvisso Háplico, por apresentarem o K adsorvido em equilíbrio entre as formas planar e preferencial, e o poder tampão de K ser relativamente alto, podem ser cultivados com adubações menos frequentes.

O solo Vertissolo Háplico possui o maior teor de K trocável, mas 68% estão adsorvidos na posição preferencial, o que diminui os seus teores em solução. Além disso, apresenta o maior valor de poder tampão, indicando que aplicações de K não influenciarão muito o K em solução. A mineralogia do solo Vertissolo Háplico indica a presença de minerais 2:1 e mica na fração argila (Tabela 2), o que pode favorecer a fixação do K; no entanto, os altos teores de Ca presentes nesse solo podem favorecer a liberação de K para a solução do solo.

Vale ressaltar que os solos menos desenvolvidos do presente estudo apresentam teores elevados de K não trocável (Tabela 1), cuja contribuição para o desenvolvimento das plantas foi observado por Rupa et al. (2001) em solos não fertilizados; no entanto, os autores advertem que essa contribuição pode causar desbalanço nutricional se fertilizações potássicas não forem adotadas para manter o solo produtivo e fértil. A contribuição de formas não trocáveis de K para o desenvolvimento das plantas é bastante documentada na literatura (RUPA et al., 2001; TAIWO; ADENTUNJI; AZEEZ, 2010), tendo em vista que o K não trocável representa a reserva de K de médio e longo prazo para as culturas.

Os solos Argissolo Amarelo, Argissolo Acimentado, Latossolo Amarelo e Argissolo Vermelho distrófico, foram estudados por Medeiros et al. (2010), que observaram pequenos teores de K não trocável nesses solos, indicando que a fertilização potássica seria a responsável pela manutenção do K na forma trocável ao longo dos cultivos, devendo ser realizada para a manutenção da disponibilidade de K.

O poder tampão de K dos solos correlacionou-se positivamente com CTC, teor de argila, teor de silte, K trocável e Ki (Tabela 4).

A baixa correlação do poder tampão de K com o teor de argila deve-se ao fato de que o tipo de minerais presentes nessa fração do solo, que regula a atividade das argilas, é mais importante do que a quantidade da argila, no que se refere à disponibilidade de K na solução do solo (CHAVES; KINJO, 1987).

Tabela 4. Correlação linear simples entre parâmetros da curva Q/I e características de solos representativos do Estado da Paraíba.

	Argila	Silte	CTC	K trocável	K não trocável	Ki ⁽²⁾	QCKe ⁽³⁾	C.O.
PTK ⁽¹⁾	0,60*	0,61*	0,95**	0,71**	0,43ns	0,81**	-0,59*	-0,33ns
K planar	0,64*	0,83**	0,95**	0,95**	0,45ns	0,75**	-0,29ns	-0,05ns
K preferencial	0,28ns	0,52*	0,75**	0,64*	0,38ns	0,62*	-0,51ns	-0,54ns

⁽¹⁾Poder tampão de K; ⁽²⁾Grau de intemperismo; ⁽³⁾Quociente de concentração de equilíbrio. **, *, ns: significativo a 1e 5%, e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t*.

A mineralogia dos solos em estudo foi avaliada por Brasil (1972), que observou que a mica predominante é a biotita, nos solos menos desenvolvidos pedogeneticamente (Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico, Luvisso Háplico, Planossolo Háplico, Neossolo Flúvico e Vertissolo Háplico), liberando K mais facilmente para as plantas. Além da biotita, ocorrem feldspatos e anfíbios, sendo esses minerais importantes para a renovação da fertilidade natural dos solos em estudo. Já para os solos mais desenvolvidos pedogeneticamente (Argissolo Amarelo, Argissolo Acinzentado, Argissolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho eutrófico, Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho distrófico), os minerais predominantes são caulinita, goetita, anatásio e a gibsita, fato que corrobora o baixo poder tampão de K desses solos (Tabela 3).

A caulinita apresenta baixa adsorção de potássio, o que faz com que a maior parte do elemento fornecido aos solos mais desenvolvidos permaneça em solução. Já em solos com muita mica e vermiculita, apesar da alta saturação por potássio, ocorre baixa concentração do elemento em solução, porque esses minerais podem reter fortemente o potássio, liberando-o lentamente para a solução (CHAVES; KINJO, 1987), a não ser que ocorram altos teores de Ca na solução do solo, o que favoreceria a troca desses cátions. A presença de mica no solo não significa necessariamente alta disponibilidade de K para as plantas, já que, entre as micas, a biotita se altera rapidamente, liberando K para a solução do solo, que pode ser absorvido pelas plantas ou perdido por lixiviação; diversamente, a muscovita apresenta resistência à alteração, o que pode limitar a presença de K no solo em razão da sua lenta liberação.

As correlações entre o poder tampão de K e as características dos solos estudados também foram observadas em outros estudos, como a correlação com o teor de silte e argila (SILVA et al., 2000), e com a CTC do solo (CHAVES; KINJO, 1987; AL-KANANI; BARTHAKUR; HUSSEIN, 1991). É importante ressaltar que quando um solo está sendo continuamente cultivado e o K absorvido, sem reposição através de fertilização, o poder tampão pode aumentar; esse aumento pode ocorrer especialmente em solos com materiais micáceos, já que esses minerais adsorvem preferencialmente o K em relação a outros cátions (LE ROUX; SUMNER, 1968), fato que pode ocorrer nos solos Neossolo Litólico e do Neossolo Flúvico do presente estudo.

Ademais, o poder tampão de K de determinado solo está relacionado com a área total de superfície de alta afinidade disponível e não com a área total da superfície de troca; por esse motivo, apenas 30 a 36% da variação do poder tampão de K dos solos estudados por Wang, Harrel e Bell (2004) foi explicada pelo conteúdo de argila, confirmando que o poder tampão de K pode não ser simplesmente dependente do conteúdo de argila,

mas de sua interação com a M.O. e com a mineralogia da fração argila (CHAVES; KINJO, 1987). No entanto, a relação entre PTK e matéria orgânica ainda não está bem estabelecida, tendo em vista que alguns estudos encontraram correlação entre essas duas características (ABASLOU; ABTAHI, 2008) e outros, não (MIELNICZUK, 1978; SILVA et al., 2000). No presente estudo, não houve correlação entre teores de carbono orgânico e o PTK dos solos (Tabela 4).

4 Conclusões

O poder tampão de K dos solos Vertissolo Háplico, Planossolo Háplico e Neossolo Flúvico é considerado alto, em relação aos outros solos estudados.

O poder tampão dos solos estudados apresentou correlação positiva com os teores de argila e silte, com a CTC e com o grau de desenvolvimento dos solos, mas não apresentou correlação com o carbono orgânico do solo.

Os solos Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico, Planossolo Háplico, Neossolo Flúvico e Vertissolo Háplico apresentam K adsorvido na forma preferencial, elevando o poder tampão de K dos solos.

Referências

- ABASLOU, H.; ABTAHI, A. Potassium quantity intensity parameters and its correlation with selected soil properties in some soils of Iran. *Journal of Applied Sciences*, v. 8, n. 10, p. 1875-1882, 2008. <http://dx.doi.org/10.3923/jas.2008.1875.1882>
- AL-KANANI, T.; BARTHAKUR, N. N.; HUSSEIN, A. J. Evaluation of potassium quantity-intensity relationships in calcareous soils. *Soil Science*, v. 151, n. 2, p. 167-173, 1991. Disponível em: <http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1991/02000/Evaluation_of_Potassium_Quantity_Intensity.6.aspx>.
- BRASIL. *Levantamento exploratório e reconhecimento de solos do Estado da Paraíba*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1972. 683 p.
- BECKETT, P. H. T. Studies on soil potassium. II. The "immediate" Q/I relations of labile potassium in the soil. *Journal of Soil Science*, v. 15, n. 1, p. 9-23, 1964. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1964.tb00240.x>
- CHAVES, L. H. G.; KINJO, T. Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 11, n. 3, p. 257-261, 1987.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. (Ed.). *Manual de métodos de análises de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ESTRADA, L. Z.; HERNANDEZ, J. J. M.; CASTILHO, G. A. B.; GARZA, A. M.; TORRES, J. L. T.; SHIBATA, J. K.; DIAZ, J. G. Efecto de la fertilización con potasio in Vertisol sobre la relación cantidad/intensidad (Q/I). *Terra Latino Americana*, v. 28, n. 4, p. 319-325, 2010. Disponível em: <<http://portal.chapingo.mx/terra/index.php?module=resumenes&volumen=28&numero=4>>.

JIMENEZ, C.; PARRA, M. A. Potassium quantity-intensity in calcareous Vertisols and Inceptisols of southwestern Spain. *Soil Science of Society American Journal*, v. 55, n. 4, p. 985-989, 1991. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/55/4/SS0550040985>>.

LE ROUX, J.; SUMNER, M. E. Labile potassium in soils I: factors affecting the quantity-intensity (Q/I) parameters. *Soil Science*, v. 100, n. 1, p. 35-41, 1968.

LIN, Y. H. Studies on quantity and intensity of potassium in some Taiwan farmland soils. *Clean - Soil, Air, Water*, v. 39, n. 4, p. 345-350, 2011. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201000183>

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>

MIELNICZUK, J. *O potássio no solo*. Piracicaba: Instituto de Potassa e do Fosfato. 1978. 80 p.

PREZOTTI, L. C.; DEFELIPO, B. V. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 11, n. 2, p. 109-114, 1987.

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. *Journal of Agricultural*

Science, v. 137, n. 2, p. 195-203, 2001. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859601001216>

SISTEMA para Análises Estatísticas - SAEG. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007.

SALEQUE, M. A.; ANISUZZAMAN, M.; MOSLEHUDDIN, A. Z. M. Quantity-intensity relationships and potassium buffering capacity of four Ganges River floodplain soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 40, n. 7 e 8, p. 1333-1349, 2009. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620902761320>

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; VALE, F. R. Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes latossolos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 10, p. 2065-2073, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000019>

TAIWO, A. A.; ADENTUNJI, M. T.; AZEEZ, J. O. Potassium supplying capacity of some tropical Alfisol in southwest Nigeria as measured by intensity, quantity and capacity factors. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, v. 86, n. 3, p. 341-355, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-009-9296-1>

VILLA, M. R.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 649-658, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000400007>

WANG, J. J.; SCOTT, A. D. Effect of experimental relevance on potassium Q/I relationships and its implications for surface and subsurface soils. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, v. 32, n. 15-16, p. 2561-2575, 2001. <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120000391>

WANG, J. J.; HARREL, D. L.; BELL, P. F. Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Science of Society of American Journal*, v. 68, n. 2 p. 654-661, 2004. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/68/2/654?access=0&view=pdf>>.