

Uso e manejo na relação quantidade/intensidade e adsorção de potássio em Vertissolo

Use and management in the quantity/intensity ratio and adsorption of potassium in a Vertisol

Lúcia H.G. Chaves*, Ana C.F. Vasconcelos, Washington B. de Lima, Josely D. Fernandes, Iêde B. Chaves e Jacqueline S. Mendes

Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Campina Grande, Avenida Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-190, Campina Grande, Paraíba, Brasil

(*E-mail: lhgarofalo@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.17516>

Recebido/received: 2019.03.20

Aceite/accepted: 2019.06.27

RESUMO

A disponibilidade de K para as plantas dependida quantidade de potássio trocável (Q) e de potássio em solução (I), e da relação Q/I. Objetivou-se avaliar a disponibilidade de K para culturas por meio das curvas Q/I e ajustar as isotermas de Langmuir e Freundlich a dados de adsorção de K em Vertissolo. Foram coletadas amostras de Vertissolo com vegetação natural arbórea (“mata”) e culturas anuais (“roçado”) em duas localidades. Dados de adsorção de K nas amostras foram usados para construir isotermas de adsorção, obtendo-se os coeficientes das equações de Freundlich e Langmuir. A curva Q/I foi obtida plotando-se QAK (I) versus ΔK (Q), e indicou a presença de baixos valores de K lábil. As amostras de Vertissolo do distrito de Galante apresentaram maior disponibilidade de K na solução desses solos. As isotermas de adsorção demonstraram que as quantidades de K adsorvidas aumentaram com a concentração da solução de equilíbrio. Os modelos de Langmuir e Freundlich são bem ajustados às amostras de solo. A amostra de solo coletada em Galante no sistema de uso e manejo “mata” apresentou maior capacidade máxima de adsorção de K. Em Queimadas, a retenção de potássio no “roçado” foi maior do que na “mata”. O sistema de uso e manejo do solo e o clima influenciam na capacidade máxima de adsorção de potássio do Vertissolo.

Palavras-Chave: potássio disponível no solo, isotermas de Langmuir e de Freundlich, manejo e uso do solo

ABSTRACT

The availability of K for plants depends on the amount of exchangeable potassium (Q) and potassium in solution (I), and the Q/I ratio. The objective of this study was to evaluate the availability of K for crops using the Q / I curves and to adjust the Langmuir and Freundlich isotherms to K adsorption data in Vertisols. Samples of Vertisol were collected with natural tree vegetation (“forest”) and annual crops (“crop”) in two locations. K adsorption data on the samples were used to construct adsorption isotherms, obtaining the coefficients of the Freundlich and Langmuir equations. The Q/I curve was obtained by plotting QAK (I) versus ΔK (Q), and indicated the presence of low labile K values. The Vertisol samples from the Galante district showed higher availability of K in the solution of these soils. The adsorption isotherms demonstrated that the adsorbed K amounts increased with the concentration of the equilibrium solution. The Langmuir and Freundlich models are well adjusted to soil samples. The soil sample collected in Galante in the “forest” use and management system had a higher maximum adsorption capacity of K. In Queimadas, the retention of potassium in the “crop” was higher than in the “forest”. The soil use and management system and the climate influence the maximum potassium adsorption capacity of Vertisol.

Keywords: potassium available in soil, Langmuir and Freundlich isotherms, soil management and soil use

INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um macronutriente essencial na nutrição dos vegetais por ter inúmeras funções na planta, destacando-se, principalmente por ativar diversos sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração (Ernani *et al.*, 2007). No solo, o K pode ser classificado como: estrutural, não trocável, trocável e em solução, e quando somadas estas frações formam o K total (Tisdale *et al.*, 1993). A maior parte do K no solo (98%) encontra-se na estrutura dos minerais primários e secundários (K estrutural), e só uma pequena fração se encontra em formas mais prontamente disponíveis para as plantas, seja ligado às cargas negativas (K trocável), seja na solução do solo (K solução) (Sparks, 2000).

A disponibilidade de K para as plantas depende, além da quantidade de K trocável (fator quantidade) (Q), do K em solução (fator intensidade) (I) (Beckett, 1964), e da relação entre essas formas (Q/I), que por sua vez determina a capacidade dos solos em manter determinada concentração de K na solução quando da absorção pelas plantas ou por perdas ocorridas no solo (Silva *et al.*, 2000). Em termos de disponibilidade às plantas, é importante que exista uma relação Q / I alta, porém acompanhada de um valor alto do fator intensidade. A existência de um valor alto de I significa uma boa concentração de K na solução do solo, junto às raízes, e isso facilita sua absorção pelas plantas (Ernani *et al.*, 2007). A curva Q/I é utilizada para descrever a disponibilidade de K no solo, levando em consideração a competição entre os íons de K, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pelos locais de troca no solo (Lin, 2011).

Os solos paraibanos, pouco desenvolvidos pedogeneticamente pela natureza dos seus materiais de origem, pelas suas condições de drenagem e pela baixa precipitação a que estão sujeitos contêm, de um modo geral, minerais de argila do grupo 2:1, que apresentam locais de adsorção específicos para o K (Chaves e Kinjo, 1987), diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

O fenômeno de adsorção é estudado a partir do uso de isotermas de adsorção, as quais descrevem a relação entre a massa do elemento adsorvido na superfície sólida e a concentração do elemento na

solução de equilíbrio. Entre os modelos mais utilizados para se descrever a adsorção do K encontram-se os de Langmuir e de Freundlich (Sposito, 1989). A maior vantagem da equação de Langmuir sobre outras isotermas respeita a Capacidade Máxima de Adsorção (CMA) e da constante relacionada com a energia de adsorção estando estes valores relacionados com atributos do solo (Olsen e Watanabe, 1957; Novais e Smyth, 1999). A isoterma de Freundlich considera a não uniformidade das superfícies reais e, quando aplicado ao solo, descreve bem a adsorção iônica dentro de certos limites de concentração, acima dos quais apresenta limitações em estimar a quantidade dos íons no sistema (Barrow, 1978). Apesar das limitações dos dois modelos, eles constituem uma valiosa ferramenta para o estudo do transporte dos nutrientes no solo e procuram descrever o estado atual e prever o comportamento futuro do movimento dos elementos no perfil do solo.

A necessidade da adoção de sistemas de uso e manejo do solo que preservem ou promovam melhorias das suas características físicas, químicas e biológicas tem sido intensificada. Entretanto, esses sistemas agrícolas, substituindo as áreas naturais, implicam mudanças na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas, causando modificações químicas e biológicas do solo. Se este processo de intervenção humana não for bem planejado pode levar a um processo de degradação dessas áreas.

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 para culturas por meio das curvas Q / I e ajustar as isotermas de Langmuir e Freundlich a dados observados de adsorção de K em amostras num mesmo tipo de solo, Vertissolo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de Vertissolo em duas diferentes áreas, correspondentes aos tratamentos com dois sistemas de uso e manejo do solo, vegetação natural arbórea (“mata”) e culturas anuais (“roçado”). Uma área localiza-se em Galante (07°18'20”S, 35°46'42”W, altitude de 373 m; clima

Aw, com uma temperatura média de 23,8 °C e precipitação de 733 mm), no distrito de Campina Grande; e a outra é localizada no município de Queimadas (07°21'28''S, 35°53'52''W, altitude de 450 m; clima BSh, uma temperatura média de 23,3 °C, precipitação de 570 mm), ambos no Estado da Paraíba.

Os Vertissolos apresentam desenvolvimento vegetal restrito em consequência dos fenômenos de expansão e contração, em geral associados à grande atividade das argilas expansivas do tipo 2:1, que confere grande capacidade de movimentação do material constitutivo do solo. São solos de elevada capacidade de troca catiónica (CTC), elevada saturação em bases (eutróficos), com teores elevados de Ca e Mg, de reação (pH) neutra a alcalina. Ocorrem distribuídos em diversos tipos de clima, dos mais úmidos (com estação seca definida) aos mais secos, tendo grande expressão nas bacias sedimentares localizadas na região semiárida do nordeste brasileiro (EMBRAPA, 2006).

Três amostras compostas da camada arável (0-20 cm de profundidade), coletadas em cada área selecionada, foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de malha; em seguida, foram caracterizadas, física e quimicamente, de acordo com EMBRAPA (2011), conforme mostram os resultados apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Características físicas e químicas das amostras de Vertissolo coletadas em dois sistemas de uso e manejo e dois municípios do Estado da Paraíba

Características	Galante		Queimadas	
	Sistemas de Manejo			
Química	Mata	Roçado	Mata	Roçado
Física				
Areia (g kg ⁻¹)	337,2	359,1	359,6	424,1
Limo (g kg ⁻¹)	349,4	247,1	84,8	80,9
Argila (g kg ⁻¹)	313,4	393,8	555,6	495,0
Classificação textural				
	Franco argiloso	Franco argiloso	Argiloso	Argilo-arenoso
pH _{H2O} (1:2,5)	7,66	7,30	7,05	7,23
CE (dS/m)	0,17	0,17	0,13	0,14
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,44	0,21	0,73	0,47
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,31	0,18	0,12	0,18
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	15,58	22,89	26,87	44,52
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	15,59	21,22	20,07	16,69
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	31,92	44,5	47,79	61,86
P (mg kg ⁻¹)	336,7	447,8	14,9	18,8
M.O. (g kg ⁻¹)	28,3	5,3	8,5	11,2

Para avaliar a disponibilidade de K para as culturas e ajustar as isotermas de Langmuir e Freundlich aos dados observados de adsorção de K nas amostras de solo foi utilizado o método Batch de Laboratório (Casagrande e Soares, 2009). Neste método, quantidades conhecidas de solo e de solução contendo o íon K⁺ são colocadas em contato, sob agitação e por um período de tempo predeterminado, ao término do qual se admite que o sistema alcançou o equilíbrio da reação. A suspensão é filtrada ou centrifugada e a concentração do soluto remanescente é medida e subtraída da concentração inicialmente adicionada. A quantidade de soluto que foi subtraída da fase líquida é entendida como a proporção do soluto que foi adsorvida pela fase sólida. Trata-se de um método simples, rápido e replicável e, por isso, permanece como o método mais empregado em estudos de adsorção-desorção (Casagrande e Soares, 2009).

Assim, para a obtenção das referidas isotermas, foram colocados num Erlenmeyer de 50 mL, 4 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e 40 mL de solução contendo 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 e 4,0 mmol/L (C₀) de KCl. Estas amostras foram agitadas durante 1 h a 140 rpm; em seguida, as soluções sobrenadantes foram filtradas e obtidas suas concentrações (C_e) de K⁺ por meio de um fotômetro de chama. As concentrações de K adsorvidas foram consideradas como resultantes da diferença entre as inicialmente adicionadas (C₀) e as remanescentes após o período de equilíbrio (C_e). A partir dos dados obtidos experimentalmente se construíram isotermas de adsorção, plotando-se a quantidade de K adsorvido na ordenada e a concentração na solução de equilíbrio na abscissa. Obtiveram-se os coeficientes das equações de Freundlich e Langmuir a partir das equações 1 e 2, a seguir:

a) Langmuir (Alleoni *et al.*, 2009).

$$\frac{x}{m} = \frac{K_L \cdot C \cdot b_L}{1 + K_L \cdot C} \quad (1)$$

em que: x/m – quantidade de K adsorvida, mg g⁻¹ de solo

C – concentração de K na solução de equilíbrio, mg L⁻¹

b_L – adsorção máxima, mg g⁻¹

K_L – constante relacionada com a energia de ligação, $L \text{ mg}^{-1}$ de K no solo;

b) Freundlich (Alleoni *et al.*, 2009).

$$\frac{x}{m} = K_F \cdot C^{b_F} \quad (2)$$

em que: x / m – quantidade de K adsorvida, mg g^{-1} de solo

C – concentração de K na solução de equilíbrio, mg L^{-1}

$b_F (= 1 / n)$ – estimativa do parâmetro de ajuste, adimensional

K_F – coeficiente de adsorção de Freundlich, $L \text{ mg}^{-1}$ de K

Para a obtenção da relação Quantidade/Intensidade (Q/I) de K no solo, foram preparadas oito suspensões 'solo:solução' para cada amostra de solo. Cinco delas continham 4,0 g de TFSA e 40 mL de uma solução inicial de CaCl_2 2 mmol L^{-1} contendo 9, 7, 4, 2 e 0,5 mmol L^{-1} de K, na forma de KCl. Nas outras três suspensões, foram colocados 1,0; 2,0; e 4,0 g de solo, e adicionaram-se 40 mL de uma solução de CaCl_2 2 mmol L^{-1} sem adicionar K. Essas soluções iniciais, identificadas como soluções de tratamento, foram agitadas horizontalmente com o solo por uma hora; em seguida foram filtradas obtendo-se a solução sobrenadante (solução de equilíbrio) para análise. O potássio na solução de equilíbrio, analisado por fotometria de chama, e o Ca e o Mg, determinados por titulação foram realizados em triplicado.

Os parâmetros da relação Q/I foram calculados conforme a metodologia descrita por Mielniczuk (1978). A quantidade de K adsorvida (ΔK positivo) ou desorvida (ΔK negativo) em cada solo foi obtida pela diferença entre a concentração inicial (solução de tratamento) e final de K (solução de equilíbrio) ($\text{meq}/100\text{g}$). O quociente de atividade de potássio (QAK) foi calculado a partir das concentrações de K e de (Ca + Mg) da solução de equilíbrio conforme a seguinte equação 3:

$$\text{QAK} = K / (\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2} \quad (3)$$

em que: QAK – quociente de atividade de potássio (mmol/L)^{1/2}

K, Ca e Mg - correspondem às concentrações desses elementos na solução final após o equilíbrio, mmol/L .

A curva Q / I foi obtida plotando-se num gráfico QAK (I) versus ΔK (Q). A partir do ajuste das equações, foram determinados os valores do quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), que corresponde ao QAK quando $\Delta K = 0$. 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 4:

$$\text{Ke} = \text{QAKe} \times (\text{Ca} + \text{Mg})^{1/2} \quad (4)$$

em que: Ke – concentração de equilíbrio de k na solução do solo, mmol/L

QAKe - quociente de atividade de equilíbrio, (mmol/L)^{1/2}

(Ca+Mg) – concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução final após o equilíbrio, mmol/L

O poder tampão do K, PTK, foi encontrado pela declividade da porção linear da reta Q / I.

Correlações lineares foram feitas para identificar as interações entre o QAKe, Ke, PTK e constantes das equações de Langmuir e Freundlich e os atributos químicos e físicos das amostras de solo (Silva e Azevedo, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras do Vertissolo estudadas apresentam uma grande variação nas características físicas e químicas (Quadro 1), cujas diferenças estão relacionadas, provavelmente, com os locais onde foram coletadas e aos sistemas de manejos das áreas experimentais. Por exemplo, os teores de argila das amostras de solo coletadas na "mata" em Galante e Queimadas correspondem a 313,4 g kg^{-1} e 555,6 g kg^{-1} , respectivamente; nestas mesmas amostras de solo apresentam 336,7 mg kg^{-1} de P e 14,9 mg kg^{-1} de P, respectivamente, além de outras diferenças.

Os valores de K disponível nas amostras de solo da “mata” e do “roçado” do município Queimadas e do “roçado” do distrito Galante foram classificados como medianos ($0,12-0,20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), enquanto na amostra da mata do distrito Galante foi classificado como elevado ($>0,20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), de acordo com Lopes e Guidolin (1989) (Quadro 1). Uma das razões para o maior valor de K disponível em Galante está, provavelmente, relacionada com o índice pluviométrico, uma vez que em Galante este índice é maior do que em Queimadas. Isso possibilita o aumento da presença da vegetação natural e, conseqüentemente, diminui a lixiviação do K, aumenta o teor de matéria orgânica, a qual pela decomposição, fornece K ao solo podendo ser absorvido pelas plantas e (Ernani *et al.*, 2007; Brady e Weil, 2008).

De maneira geral, as amostras do Vertissolo, das áreas de “mata” e “roçado” apresentaram numa curvatura típica da relação Q/I de K (Figura 1), ou seja, duma curvatura na parte inferior, sendo linear na parte superior, como observado por outros autores (Beckett, 1964; Le Roux e Sumner, 1968; Chaves e Kinjo, 1987). Estas amostras apresentaram poucos valores de ΔK negativos (Figura 1), indicando por isso, a presença de baixos valores de K lábil nas amostras de solo, ou seja, baixa liberação de K em solução.

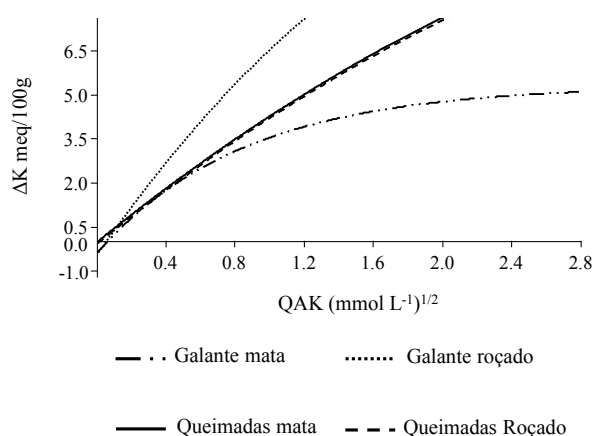


Figura 1 - Relação quantidade/intensidade de potássio (Q/I) em amostras de um Vertissolo em dois sistemas de manejo e em duas localidades estudadas do Estado da Paraíba.

Os quocientes de atividade de equilíbrio (QAKe) variaram de 0,017 a 0,055 (mmol L^{-1})^{1/2} (Quadro 2), sendo os maiores valores observados nas amostras do Vertissolo do distrito de Galante, indicando maior disponibilidade de K na solução desses solos.

Quadro 2 - Parâmetros quantidade-intensidade (Q/I) em amostras de um Vertissolo em dois sistemas de manejo e duas localidades estudadas do Estado da Paraíba

Sistemas de Manejo	QAKe	Ke	PTK
	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	mmol L ⁻¹	(meq/100g) / (mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Galante			
Mata	0,055	0,077	2,50
Roçado	0,044	0,060	6,82
Queimadas			
Mata	0,017	0,023	4,30
Roçado	0,020	0,027	3,90

QAKe - quociente de atividade de equilíbrio; Ke- potássio em equilíbrio; PTK - poder-tampão de potássio

Solos com QAKe e Ke mais elevados geralmente possuem um poder tampão relativamente baixo (Chaves e Kinjo, 1987), como observado (PTK) especialmente na amostra do Vertissolo da “mata” de Galante do presente estudo (Quadro 2), 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. Por este motivo, na amostra da “mata” as adubações potássicas devem ser efetuadas em doses menores e mais frequentes, de modo a minimizar as perdas de K por lixiviação e até mesmo o consumo de luxo pelas plantas. Segundo Villa *et al.* (2004), um solo com baixo poder tampão de potássio (PTK) é preocupante para a agricultura, pois se o K for absorvido pelas plantas em cultivos sucessivos e nenhuma adição do elemento for realizada, as plantas poderão sofrer deficiência desse nutriente.

Ao contrário, o maior valor do poder tampão de K (PTK) foi observado na amostra de “roçado”, em Galante, ou seja, 6,82 (meq/100g) / (mmol L⁻¹)^{1/2}. Um valor elevado de PTK indica um fornecimento constante de K na solução do solo por períodos longos (Saleque *et al.*, 2009), ou seja, o solo apresenta reserva de K suficiente para repor o

elemento utilizado pelas culturas ao longo dos cultivos (Taiwo *et al.*, 2010). A manutenção constante de K na solução do solo ocorre por meio de adsorção específica + adsorção não específica, quando as culturas são adubadas com o nutriente, ou, então, por meio de dessorção, que repõe naturalmente o K na solução do solo quando esse elemento é perdido do solo por lixiviação ou absorvido pela planta (Santos *et al.*, 2013).

Observa-se ainda que a amostra de Vertissolo da mata em Queimadas apresentou maior valor de PTK do que a amostra de “roçado” neste distrito (Quadro 2), podendo exigir assim adubações em maiores quantidades. No entanto, estas adubações

Quadro 3 - Coeficientes de correlação entre o quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), potássio em equilíbrio (Ke) e poder-tampão de potássio (PTK) e os atributos químicos e físicos das amostras de solo

Atributos das amostras de solo	QAKe	Ke	PTK	QAKe	Ke	PTK
	Galante			Queimadas		
	Mata			Roçado		
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CE	ns	ns	**	ns	ns	ns
K	-.**	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	-.**	-.**	-.**	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Areia	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Silte	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Argila	ns	ns	ns	ns	ns	ns
QAKe		ns	**		**	ns
Ke			**			-.**
				Queimadas		
				Mata		
				Roçado		
pH	ns	ns	ns	+.*	ns	ns
CE	ns	ns	ns	+.*	ns	ns
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	-.**	ns	ns	-.**	ns	ns
P	ns	ns	ns	+.**	ns	ns
MO	ns	ns	ns	+.**	ns	ns
Areia	ns	-.*	ns	-.**	ns	ns
Silte	ns	-.*	ns	ns	ns	ns
Argila	ns	-.*	ns	+.**	ns	ns
QAKe		ns	**		ns	ns
Ke			ns			ns

*, **significativos a 5 e 1 %, respectivamente; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; CTC - capacidade de troca de cátions; P - fósforo disponível; MO – matéria orgânica; Areia, Silte e Argila – frações granulométricas; QAKe - quociente de atividade de equilíbrio; Ke- potássio em equilíbrio; PTK – poder-tampão de potássio

podem ser aplicadas com menor frequência, visto que o solo possui maior capacidade de manutenção da atividade de K em solução, em virtude de se tratar de um solo argiloso, com maior CTC, ou seja, apresentando condições de maior adsorção de K no solo. Por isso, verificaram-se correlações indiretas da QAKe com CTC e diretas com pH, CE, P, MO e argila (Quadro 3), em especial no solo de Queimadas.

Os parâmetros da relação Q/I praticamente não apresentaram correlações com os teores de K, com exceção, da correlação de K com QAKe na amostra da “mata” em Galante (Quadro 3), indicando maior disponibilidade de potássio na solução dessa amostra de solo; a CTC influenciou, de forma indireta, o Ke e PTK da mesma amostra de solo da “mata” e o QAKe da amostra de “roçado”.

A presença de matéria orgânica no solo influencia a capacidade de troca catiônica e, por isso, a adsorção de K devido ao aumento de cargas elétricas. No entanto, conforme vários autores (Mielniczuk, 1978; Silva *et al.*, 2000; Abaslou e Abtahi, 2008; Santos *et al.*, 2013), a relação entre PTK e matéria orgânica ainda não está bem estabelecida. No presente estudo, não se observaram correlações significativas entre teores de matéria orgânica e o PTK das amostras do Vertissolo (Quadro 3), corroborando Santos *et al.* (2013).

As isotermas de adsorção de K (Figura 2), correspondentes às amostras de Vertissolo de diferentes sistemas de uso e manejo e localidades estudadas do Estado da Paraíba, demonstraram que as quantidades de potássio adsorvidas por essas amostras aumentaram com a concentração da solução de equilíbrio. Os elevados coeficientes de determinação nestas isotermas, apresentadas no Quadro 4, indicam que os modelos de Langmuir e Freundlich são bem ajustados às amostras de solo estudadas, sendo que o primeiro modelo se adequou melhor às concentrações de K adsorvido que o modelo de Freundlich (Figura 2B).

Os parâmetros de ajuste das isotermas de Langmuir e de Freundlich para adsorção de K nestas amostras, ou seja, os resultados da capacidade máxima de adsorção de K (b_L), energia de adsorção (K_L), coeficiente de adsorção de Freundlich (K_F) e parâmetro de ajuste de Freundlich (b_F) para as

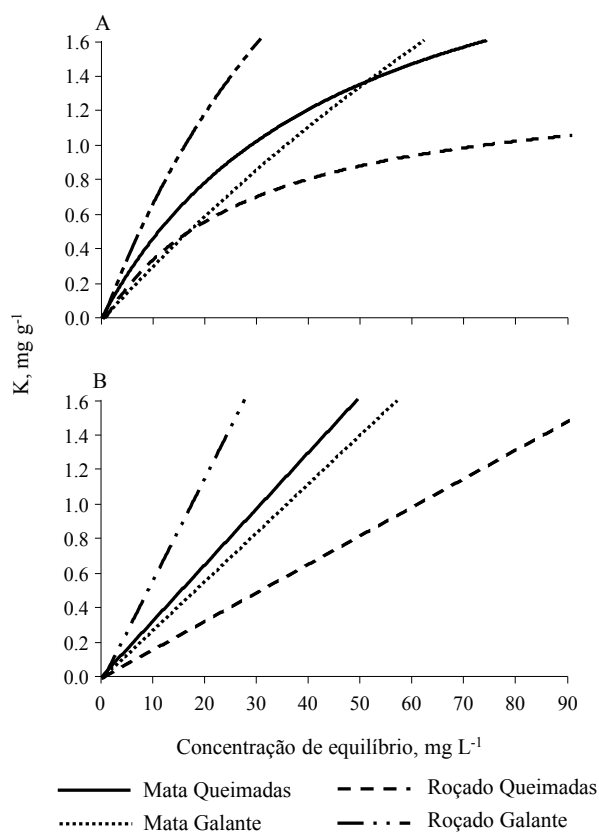


Figura 2 - Relação entre as concentrações de K na solução de equilíbrio e as concentrações adsorvidas nas amostras de Vertissolo em dois sistemas de uso e manejo e duas localidades estudados do Estado da Paraíba, estimados pelos modelos de Langmuir (A) e Freundlich (B).

amostras estudadas são apresentados no Quadro 4. Estes resultados variaram de uma amostra para outra, sendo que esta variação pode estar diretamente ligada com as características químicas e físicas das mesmas, as quais foram, provavelmente, influenciadas pelos locais e os sistemas de manejo das áreas experimentais.

A amostra de solo coletada no distrito de Galante no sistema de uso e manejo “mata” foi a que apresentou maior capacidade máxima de adsorção de K igual a 7,97 mg g⁻¹ (Quadro 4). Este fato deve-se, provavelmente, ao fato desta amostra apresentar maior valor de pH e maiores teores de K e matéria orgânica em relação às demais amostras. As outras características que podem ter influenciado esse parâmetro, por exemplo, CTC e teor de argila, foram menores na amostra da “mata”, em Galante, do que nas demais amostras estudadas. Entretanto, a correlação linear simples entre a capacidade máxima de adsorção (b₁) neste solo foi apenas significativa com a CTC e indiretamente com a condutividade elétrica (Quadro 5). O mesmo não ocorreu com a amostra do solo do “roçado” em Galante, ou seja, nenhum atributo influenciou significativamente a capacidade máxima de adsorção. Observando os teores de K trocável (Quadro 1) nas amostras de “mata” (0,31 cmol_c kg⁻¹) e do “roçado” (0,18 cmol_c kg⁻¹), em Galante, pode-se dizer que na área mais rica em K a energia de ligação é menor (0,0041 e 0,0167 L mg⁻¹, respectivamente) (Quadro 4).

Quadro 4 - Parâmetros de ajuste das isotermas de Langmuir e de Freundlich, para adsorção de K ao Vertissolo em dois sistemas de uso e manejo e duas localidades estudadas do Estado da Paraíba

Sistemas de Manejos	Langmuir		Equação	Freundlich		Equação
	K _L (L mg ⁻¹)	b _L (mg g ⁻¹)		K _F	b _F	
Galante						
Mata	0,0041	7,97	$\frac{x}{m} = \frac{(0,0327X)}{(1+0,0041x)}$ R ² = 0,78	0,0565	0,5	$\frac{x}{m} = 0,06x^{0,5}$ R ² =0,77
Roçado	0,0167	4,82	$\frac{x}{m} = \frac{(0,0805X)}{(1+0,0167x)}$ R ² = 0,91	0,1129	0,52	$\frac{x}{m} = 0,11x^{0,52}$ R ² =0,88
Queimadas						
Mata	0,0217	2,60	$\frac{x}{m} = \frac{(0,056X)}{(1+0,0217x)}$ R ² = 0,98	0,065	0,5	$\frac{x}{m} = 0,07x^{0,5}$ R ² =0,94
Roçado	0,0347	1,40	$\frac{x}{m} = \frac{(0,0486X)}{(1+0,0347x)}$ R ² = 0,96	0,033	0,5	$\frac{x}{m} = 0,03x^{0,5}$ R ² =0,80

K_L - constante relacionada à energia de ligação; b_L - capacidade máxima de adsorção; K_F - coeficiente de adsorção de Freundlich; b_F - estimativa do parâmetro de ajuste, adimensional, de Freundlich.

Quadro 5 - Coeficientes de correlação linear simples entre constantes das equações de Langmuir e Freundlich e as características físicas e químicas das amostras de Vertissolo em dois sistemas de uso e manejo e duas localidades estudadas do Estado da Paraíba

Atributos das amostras de solo	K _L	b _L	K _F	b _F	K _L	b _L	K _F	b _F
	Galante							
	Mata				Roçado			
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CE	ns	-.**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	+.**	ns	ns	+.**	ns	+.**	ns
P	ns	ns	ns	-.**	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	+.**	ns	ns	ns	ns
Areia	-.**	ns	+.**	ns	ns	ns	ns	ns
Silte	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Argila	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K _L		ns	-.**	-.**		ns	ns	ns
b _L			ns	ns			ns	ns
K _F				-.**				ns

Atributos das amostras de solo	Queimadas							
	Mata				Roçado			
	pH	+.**	ns	ns	ns	+.*	+.*	ns
CE	-.**	ns	ns	ns	+.**	+.**	ns	ns
CTC	ns	ns	-.**	ns	-.**	-.**	-.**	ns
P	ns	ns	ns	ns	+.**	+.**	+.**	ns
MO	ns	ns	ns	ns	+.**	+.**	+.**	ns
Areia	+.**	ns	+.**	ns	-.**	-.**	-.**	ns
Silte	-.**	ns	-.**	ns	ns	ns	ns	ns
Argila	-.**	ns	-.**	ns	+.**	+.**	+.**	ns
K _L		ns	ns	ns		+.**	ns	ns
b _L			ns	ns			ns	ns
K _F				ns				ns

*, **.**significativos a 5 e 1 %, respectivamente; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; CTC - capacidade de troca de cátions; P - fósforo disponível; MO – matéria orgânica; Areia, Silte e Argila – frações granulométricas; b_L - capacidade máxima de adsorção; K_L - constante relacionada à energia de ligação; K_F – coeficiente de adsorção de Freundlich; b_F - estimativa do parâmetro de ajuste, adimensional, de Freundlich.

Os valores para o coeficiente K_L, relativos à energia de ligação, apresentaram-se mais elevados para as amostras de solo de Queimadas (Quadro 4), indicando uma maior do K essas amostras. Em relação aos diferentes sistemas de uso e manejo nestas amostras, a retenção de K no “roçado” foi superior ao da “mata” (Quadro 4). É interessante observar que dentre essas amostra de solo há características distintas que favorecem a adsorção dos elementos (Linhares *et al.*, 2008), tais como valores mais elevados de pH, CTC e matéria orgânica no solo de “roçado” de Queimadas do que para o solo “mata”, favorecendo, assim, a maior energia de ligação, observado pelo maior valor de K_L (0,0347).

Os menores valores observados da capacidade máxima de adsorção de K (b_L) nas amostras do Vertissolo no município Queimadas, apesar da maior energia de ligação (K_L) (Quadro 4), podem ter ocorrido devido aos elevadosteoeres de Ca e Mg no complexo de troca (Quadro 1), que podem ter neutralizado as cargas negativas do complexo coloidal do solo, uma vez que esses elementos apresentam maior eletroatividade do que o K.

De acordo com Alcântara e Camargo (2001), a utilização do coeficiente de adsorção K_F permite identificar a capacidade de um solo em reter determinado soluto, possibilitando a estimativa da extensão de seu movimento na fase líquida. Tal coeficiente pode ser entendido como uma medida da distribuição de equilíbrio entre as fases sólida e líquida de um solo e, assim sendo, quanto maior a capacidade adsorviva (b_F), maior será o K_F. No presente trabalho, isso ocorreu somente para a amostra de solo “roçado” em Galante (Quadro 4). Entretanto, não houve correlação significativa entre b_L e K_F em todas amostras estudadas.

Dentre os atributos das amostras do Vertissolo coletadas na área mata no distrito de Galante, somente areia e a constante relacionada à energia de ligação (K_L) apresentaram correlação (p < 0,01) com o coeficiente de adsorção de Freundlich (K_F) (Quadro 5). O fósforo, matéria orgânica, K_L e K_F influenciaram no parâmetro de ajuste b_F de Freundlich. Entre os atributos das amostras do “roçado” nesta mesma localidade, somente a CTC apresentou correlação direta (p < 0,01) com os K_L e K_F (Quadro4).A energia de ligação (K_L) não apresentou correlação significativa com atributos químicos, físico, e constantes K_F e b_F de Freundlich corroborando vários autores.

Os atributos químicos pH e CE das amostras do Vertissolo coletadas na área “mata” no município de Queimadas apresentaram correlação (p < 0,01) direta e indireta, respectivamente, com a energia de ligação (K_L). Os atributos físicos destas amostras, areia, limo e argila, também apresentaram correlação (p < 0,01) com esta energia (K_L), sendo que a relação da areia foi direta, enquanto limo e argila foram indiretas. Este mesmo comportamento ocorreu entre estes atributos físicos e o coeficiente de adsorção de Freundlich (K_F). A CTC apresentou correlação (p < 0,01) indireta com K_F (Quadro 4). Os valores de pH e CE das amostras do “roçado”

se correlacionaram ($p < 0,05$) e ($p < 0,01$), respectivamente, de forma direta com os parâmetros de adsorção de K (K_L e b_L). Os demais atributos, CTC, P, MO, areia e argila se correlacionaram ($p < 0,01$) com os parâmetros K_L e b_L e K_F .

CONCLUSÕES

A curva quantidade-intensidade das amostras de Vertissolo analisadas neste estudo indicou a presença de baixos valores de potássio lábil nas amostras de solos.

As isotermas de adsorção de potássio demonstraram que as quantidades de potássio adsorvidas nas amostras de solo aumentaram com a concentração

da solução de equilíbrio. Os elevados coeficientes de correlação nestas isotermas indicam que os modelos de Langmuir e Freundlich são bem ajustados às amostras de solo estudadas, sendo que o primeiro modelo se adequou melhor às concentrações de potássio adsorvido que o modelo de Freundlich.

A amostra de solo coletada no distrito de Galante, no sistema de uso e manejo “mata” apresentou a máxima capacidade de adsorção de potássio. Em Queimadas, a retenção de potássio no “roçado” foi superior ao da “mata”.

O sistema de uso e manejo do solo e o clima influenciam na capacidade máxima de adsorção de potássio do Vertissolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaslou, H. & Abtahi, A. (2008) – Potassium quantity intensity parameters and its correlation with selected soil properties in some soils of Iran. *Journal of Applied Sciences*, vol. 8, n. 10, p. 1875-1882. <http://dx.doi.org/10.3923/jas.2008.1875.1882>
- Alcântara, M.A.K. & Camargo, O.A. (2001) – Isotermas de adsorção de Freundlich para o cromo (iii) em Latossolos. *Scientia Agricola*, vol. 58, n. 3, p. 567-572. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000300020>
- Alleoni, L.R.F.; Mello, J.W.V. & Rocha, W.S.D. (2009) – Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: Melo, V. F. & Alleoni, L.R.F. (Eds.) – *Química e mineralogia do solo*. Viçosa, SBCS, p. 69-129.
- Barrow, N.J. (1978) – The description of phosphorous adsorption curves. *Soil Science*, vol. 29, n. 4, p. 447-462. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1978.tb00794.x>
- Beckett, P.H.T. (1964) – Studies on soil potassium. II. The “immediate” Q/I relations of labile potassium in the soil. *Journal of Soil Science*, vol. 15, n. 1, p. 9-23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1964.tb00240.x>
- Brady, N.C. & Weil, B.R. (2008) -*The nature and properties of soils*. 14^a ed. New Jersey, Pearson Education, p. 965.
- Casagrande, J.C. & Soares, M.R. (2009) – Modelos químicos de adsorção. In: Melo, V. F. & Alleoni, L.R.F. (Eds.) – *Química e mineralogia do solo*. Viçosa, SBCS, p. 131-158.
- Chaves, L.H.G. & Kinjo, T. (1987) – Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 11, n. 3, p. 257-261.
- EMBRAPA (2006) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SPI. p. 306.
- EMBRAPA (2011) – *Manual e métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos. p. 230.
- Ernani, P.R.; Almeida, J.A. & Santos, F.C. (2007) – Potássio. In: Novais, R.F.; Alvarez V.V.H.; Barros, N.F.; Cantarutti, R.B. & Neves, J.C.L. (Eds.) – *Fertilidade do solo*. Viçosa, SBCS, p. 552-594.
- Le Roux, J. & Sumner, M.E. (1968) – Labile potassium in soils I: factors affecting the quantity-intensity (Q/I) parameters. *Soil Science*, vol. 106, n. 1, p. 35-41.
- Lin, Y.H. (2011) – Studies on quantity and intensity of potassium in some Taiwan farmland soils. *Clean – Soil, Air, Water*, vol. 39, n. 4, p. 345- 350. <http://dx.doi.org/10.1002/clean.201000183>
- Linhares, L.A.; Egreja Filho, F.B.; Ianhez, R. & Santos, E.A. (2008) – Aplicação dos modelos de Langmuir e Freundlich na adsorção de cádmio e chumbo em diferentes classes de solos brasileiros. *Revista Tecnológica*, vol. 17, p. 49-60.

- Lopes, A.S & Guidolin, J.A. (1989) – *Interpretação de análises do solo: conceitos e aplicações*. 2. ed. São Paulo, ANDA. p. 64.
- Mielniczuk, J. (1978) – *O potássio no solo*. Piracicaba, Instituto Internacional da Potassa, p. 80 (boletim Técnico, 2).
- Novais, R.F. & Smyth, T.J. (1999) – *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, UFV, p. 399
- Olsen, E.R. & Watanabe, F.S. (1957) – A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of America Proceedings*, vol. 21, n. 2, p. 144-149. <https://doi.org/10.2136/sssaj1957.03615995002100020004x>
- Saleque, M.A.; Anisuzzaman, M. & Moslehuddin, A.Z.M. (2009) – Quantity-intensity relationships and potassium buffering capacity of four Ganges River floodplain soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 40, n. 7-8, p. 1333-1349. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620902761320>
- Santos, H.C.; Oliveira, F.H.T.; Hoffmann, R.B. & Santos, D. (2013) – Relações quantidade/intensidade de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba – Brasil. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, vol. 56, n. 4, p. 338-346. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.051>
- Silva, F.A.S. & Azevedo, C.A.V. (2002) -Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, vol. 4, n. 1, p. 71-78.
- Silva, I.R.; Furtini Neto, A.E.; Fernandes, L.A.; Curi, N. & Vale, F.R. (2000) – Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes Latossolos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 35, n. 10, p. 2065-2073. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000019>
- Sparks, D.L. (2000) – Bioavailability of soil potassium. In: Sumner, M.E. (Ed.). – *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, Section D. p. D48.
- Sposito, G. (1989) – *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, p. 344.
- Taiwo, A.A.; Adentunji, M.T. & Azeez, J.O. (2010) – Potassium supplying capacity of some tropical Alfisol in southwest Nigeria as measured by intensity, quantity and capacity factors. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 86, n. 3, p. 341-355. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-009-9296-1>
- Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D. & Havlin, J.L. (1993) – *Soil fertility and fertilizers*. New York, Macmillan. p. 634.
- Villa, M.R.; Fernandes, L.A. & Faquin, V. (2004) – Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 28, n. 4, p. 649-658. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000400007>