

Novembro e Dezembro de 2000

VOL. XLVII | Nº 274

Viçosa – Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ESTUDO DA ADSORÇÃO DE MOLIBDÊNIO EM QUATRO SOLOS DE MINAS GERAIS¹

Hérica D'Assunção Coelho²

Karine Almeida Lage³

Luiz Henrique Arimura Figueiredo⁴

Jaime Wilson Vargas de Mello⁵

RESUMO

O ânion molibdato, quando no solo, pode ser sorvido pela fração mineral, principalmente óxidos de ferro e alumínio, e pela matéria orgânica. Esta adsorção pode apresentar caráter específico e está baseada na atração e formação de ligação química por deslocamento de ligantes associados aos cátions da estrutura, podendo ocorrer tanto em superfícies carregadas (positiva ou negativa) quanto em superfícies neutras. O presente trabalho teve como objetivo estudar a adsorção de molibdato por solos de diferentes texturas e conteúdos de matéria orgânica. O estudo foi realizado em quatro solos de Minas Gerais: dois de textura argilosa [Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PV)] e dois de textura média [Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Cambissolo Latossólico húmico (CL)], os quais foram caracterizados física e quimicamente. Para a determinação da capacidade máxima de adsorção de molibdato nos solos, da constante relacionada a energia de ligação (a), do fator capacidade (k) e da constante 'n', foram utilizadas 10 doses (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 mg L⁻¹ de Mo) do íon, preparadas com molibdato de amônio em KCl 0,06 mol L⁻¹, com três repetições. A dosagem de molibdato na solução de equilíbrio foi realizada em

¹ Aceito para publicação em 12.4.2000.

² Aluna de Mestrado do Dep. de Solos da Universidade Federal de Viçosa-UFV, 36571-000 Viçosa, MG. hdac@ig.com.br ou hdcoelho@terra.com.br

³ Aluna de Mestrado do Dep. de Química da Universidade Federal de Viçosa-UFV, 36571-000 Viçosa, MG. klage@alunos.ufv.br

⁴ Aluno de Doutorado do Dep. de Solos da Universidade Federal de Viçosa-UFV, 36571-000 Viçosa, MG. arimura@solos.ufv.br

⁵ Professor do Dep. de Solos da Universidade Federal de Viçosa-UFV, 36571-000 Viçosa, MG. jwvmello@mail.ufv.br

espectrofotômetro UV/Vis, no comprimento de onda de 350 nm. Os resultados mostram que a adsorção de molibdato no solo cresce com o aumento da concentração do elemento na solução de equilíbrio. Os dados, no que se refere à afinidade do ânion com a matéria orgânica, se ajustaram melhor à isoterma de Freundlich do que de Langmuir. Os valores da constante 'k' foram: LE: $k = 34,17$; PV: $k = 8,06$; LV: $k = 8,64$ e CL: $k = 15,88$. A constante k está relacionada à capacidade de adsorção do solo, que representa a capacidade do solo em reter íons, podendo, dessa forma, ser denominada fator capacidade. Concluiu-se que os teores de matéria orgânica e de argila interferiram na capacidade de adsorção de molibdato pelos solos estudados.

Palavras-chaves: adsorção de molibdênio, matéria orgânica, argila.

ABSTRACT

MOLYBDENUM ADSORPTION STUDY IN FOUR MINAS GERAIS SOILS

The molybdate when in the soil can be sorbed by the mineral fraction, mainly iron and aluminum oxides, and by the organic matter. This adsorption which may be a specific character and is based on the attraction and chemical bound formation due to the movement of ligands associated to the cations in the structure, could happen both in charged surfaces (positive or negative) and in neutral surfaces. This work aimed to study molybdate adsorption by soils of different textures and organic matter contents. Molybdate (MoO_4^{2-}) adsorption was studied in two clayey soils [Red Dark Latosol (LE) and Red Yellow Podzolic (PV)] and two medium texturized soils [Red Yellow Latosol (LV) and humic cambic Latosol (CL)]. The Minas Gerais soils were analyzed in order to determine their physical and chemical characteristics. The maximum adsorption capacity of each soil, the constant 'a', the capacity factor (k) and the constant 'n' were evaluated by using ten doses (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 mg L^{-1}) of ion, prepared with ammonium molybdate in KCl 0.06 mol L^{-1} , in a trial with 3 replications. The extracts were analyzed by spectrophotometer UV/Vis, in $\lambda = 350 \text{ nm}$. The molybdate adsorption increased with the increase of the molybdate concentration in the equilibrium solution. The data relating the affinity of molybdate by organic matter were better adjusted by the Freundlich Isotherm than by the Langmuir Isotherm. The values of the constant 'k' were: LE: $k = 34.17$; PV: $k = 8.06$; LV: $k = 8.64$ and CL: $k = 15.88$. The constant 'k' is related to soil adsorption capacity which represents the capacity of the soil for ion retention and, therefore, called the capacity factor. It was concluded that the organic matter and the clay contents interfere in the molybdate adsorption capacity in the soils.

Key words: molybdenum adsorption, organic matter, clay.

INTRODUÇÃO

O molibdênio é elemento que se apresenta na solução do solo normalmente como ânion molibdato (MoO_4^{2-}) e, em menor quantidade, como ácido molíbdico (H_2MoO_4). É elemento que participa tanto da dinâmica de compostos orgânicos quanto de compostos inorgânicos do solo. Sua disponibilidade no solo pode diminuir muito, principalmente quando os cultivos se tornam intensivos, quando ocorrem alterações nas práticas de manejo ou quando, de alguma maneira, há esgotamento desse nutriente sem a devida reposição por meio de fertilizantes (2). Vários

extratores têm sido sugeridos para medir a disponibilidade de molibdênio nos solos, cabendo destacar os seguintes: água quente, acetato de amônio, oxalato de amônio, fluoreto de amônio em ácido sulfúrico, ácido oxálico, ácido sulfúrico, ácido clorídrico, Mehlich-1 e resina de troca aniônica (12).

Dentre os métodos colorimétricos de dosagem de molibdênio em solução destacam-se o método de tiocianato de potássio, o método de ditiol e o método proposto por Yatsimirskii (16), testado e modificado por Fuge (5), Eivazi et al. (4) e Dallpai (2) que se baseia na ação catalítica do molibdênio na reação entre o iodeto de potássio e o peróxido de hidrogênio. Tal método mostra-se bastante promissor, por ser de fácil operação, rápido e não-tóxico. Entretanto, no Brasil, há ausência de trabalhos que enfoquem diretamente o seu uso para avaliação da disponibilidade de molibdênio em solos.

O ânion molibdato, quando no solo, pode ser adsorvido pela fração mineral, principalmente óxidos de ferro e alumínio, e por matéria orgânica. Tal adsorção pode apresentar caráter específico e está baseada na atração e formação de ligação química por deslocamento de ligantes associados aos cátions da estrutura, podendo ocorrer tanto em superfícies carregadas (positiva ou negativa) quanto em superfícies neutras. De acordo com Siqueira (13), como o ânion molibdato tem uma afinidade específica pelos átomos de metais da superfície dos óxidos, ele é adsorvido além da proporção de sua concentração ou atividade na solução. A adsorção aniônica é afetada pelo pH, concentração de outros ânions, temperatura e tempo de equilíbrio, etc., sendo importante o controle desses fatores.

As reações de adsorção do molibdênio com a parte mineral do solo são de extrema importância no controle de sua disponibilidade. Ele é retido fortemente pelos óxidos de ferro e alumínio e suas reações com os minerais de argila ocorrem principalmente nas arestas quebradas, onde os grupos Al-OH ou Fe-OH se encontram expostos. Karimian e Cox (9) mostraram que a adsorção de molibdênio em minerais do solo aumenta com o conteúdo de ferro livre. Os óxidos de alumínio são capazes de remover molibdênio de soluções aquosas, mas a sua eficiência é pequena comparada à dos óxidos de ferro, nas mesmas condições (9).

De acordo com Wu et al. (15), a densidade de adsorção de molibdato sobre γ -Al₂O₃ aumenta com a mudança do pH do sistema de alcalina para condições ácidas. Estes autores verificaram, também, que a adsorção de molibdato, considerada como de coordenação específica dos grupos hidroxil, não foi afetada pela variação da força iônica da solução de equilíbrio. Isto parece indicar, portanto, a formação de complexo de esfera interna.

As reações e as associações do molibdênio com matéria orgânica ainda não são perfeitamente compreendidas. Davies (3) relata teores baixos de molibdênio em solos orgânicos, enquanto Aubert e Pinta (1977), citados

por Dallpai (2) afirmam que o molibdênio está intimamente ligado à matéria orgânica do solo. Alguns ânions polivalentes, como o fosfato, podem estar conectados à carga negativa de moléculas orgânicas por meio de pontes formadas entre eles e o ferro ou o alumínio (2). Se as reações do MoO_4^{2-} são idênticas às do fosfato, é muito provável que esse tipo de ligação também ocorra com esse ânion. Assim, pressupõe-se que formas orgânicas protejam o molibdênio, evitando formação de compostos insolúveis que diminuem sua disponibilidade em condições ácidas. Segundo Mitchell (1965), citado por Horowitz (7), a presença de molibdênio complexado pela matéria orgânica e disponível para as plantas é sugerida pela absorção elevada deste elemento, mesmo em solos bastante ácidos, com conteúdo moderado de matéria orgânica. A própria matéria orgânica propicia ambiente ácido e redutor dentro dos limites necessários para conferir a estabilidade do íon MoO_4^{2-} (7).

O presente trabalho objetivou estudar a adsorção de molibdato por quatro solos de diferentes texturas e conteúdos de matéria orgânica, quantificando o ânion por método colorimétrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de adsorção de molibdato foi realizado em quatro solos de Minas Gerais: Latossolo Vermelho-Escuro (0-20 cm), Podzólico Vermelho-Amarelo (40-60 cm), Latossolo Vermelho-Amarelo (0-20 cm) e Cambissolo Latossólico húmico (horizonte B_j). Estes solos provieram do Banco de Solos do Departamento de Solos-UFV, os quais foram caracterizados física e quimicamente (Quadros 1 e 2).

QUADRO 1 – Análises físicas dos quatro solos utilizados

Solo ¹	Areia	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	grossa	fina			
	%				
LE	22	10	12	56	Argila
PV	22	16	7	55	Argila
LV	40	28	5	27	Franco-argilo-arenoso
CL	36	16	19	29	Franco-argilo-arenoso

¹Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa (LE); Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PV); Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (LV); e Cambissolo Latossólico húmico (CL).

QUADRO 2 - Análises químicas dos quatro solos utilizados

Solo ¹	pH ²	MO ³	C.O.	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ⁴	SB ⁵	t ⁶	T ⁷	V ⁸	m ⁹
	H ₂ O	KCl	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³						cmol _c dm ⁻³				%
LE	4,83	4,23	5,67	3,29	2,27	22,7	1,0	0,8	7,90	0,99	1,99	8,89	11,1	50,1
PV	4,90	4,20	0,74	0,43	0,27	11,7	0,4	0,03	3,20	0,55	0,98	3,75	14,5	44,5
LV	5,40	4,63	2,17	1,26	1,60	5,4	0,27	0,30	3,90	1,36	1,63	5,26	26,1	16,1
CL	4,40	4,20	3,03	1,76	0,60	5,0	0,50	0,0	6,30	0,01	0,51	6,31	0,20	98,0

¹ Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa (LE); Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PV); Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (LV); e Cambissolo Latossólico húmico (CL). ² Relação 1:2,5. ³ Mat. Org. = C.Org x 1,724 - Yeomans & Bremner (1988). ⁴ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. ⁵ SB-Soma de bases trocáveis. ⁶ CTC(t) - Capacidade de troca catiónica efetiva. ⁷ CTC(T) - Capacidade de troca catiónica a pH 7,0. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl -1,0 mol L⁻¹. ⁸ Índice de saturação por bases. ⁹ Índice de saturação por alumínio.

Amostras dos quatro solos, secas ao ar e com granulometria $< 2,0$ mm, foram peneiradas em malha de $0,250$ mm. Destas, pesou-se $1,0$ g de solo e acrescentaram 25 mL de solução de molibdato de amônio em KCl $0,06$ mol L^{-1} , contendo $10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ e 100 mg L^{-1} de Mo. Para a determinação da capacidade máxima de adsorção de molibdato, da constante relacionada à energia de ligação (a), da constante denominada fator capacidade (k) e da constante "n" não se ajustou o pH da suspensão. A solução foi agitada por 24 horas, segundo Barrow (1) e Siqueira (13), em agitador vertical. Depois, foi centrifugada a $419 \times g$ (2.500 rpm) por cinco minutos e filtrada, obtendo-se, assim, a solução de equilíbrio.

A partir de uma solução-padrão de $1,0$ mg L^{-1} de Mo, foram preparadas soluções com concentrações de $0,00; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,10; 0,12$ e $0,15$ mg L^{-1} de Mo para construção da curva-padrão. A dosagem do conteúdo de molibdênio foi realizada conforme proposto por Yatsimirskii (16), modificado por Fuge (5), Eivazi et al. (4) e Dallpai (2). Para tal, colocaram-se $3,0$ mL do extrato em tubo de ensaio, acrescentaram-se $1,0$ mL de NH_4F $2,5$ g L^{-1} ; $1,0$ mL de H_2O_2 $0,65$ mL L^{-1} ; e $1,0$ mL de KI $2,5$ g L^{-1} . Após transcorridos exatamente 10 min, procedeu-se à leitura de absorvância em espectrofotômetro UV/Vis, no comprimento de onda de 350 nm, em cubeta de quartzo de $1,0$ cm de passo ótico. Utilizando pipetador automático, foram analisadas no máximo 20 amostras por bateria. Após obter a equação característica da curva-padrão, pôde-se quantificar o molibdato da solução de equilíbrio.

Uma forma de se estudar o fenômeno de adsorção é utilizar as isotermas de adsorção, tais como de Langmuir e Freundlich. A isoterma de Langmuir, está baseada em dois pressupostos: a adsorção ocorre em monocamada e a constante relacionada com a energia de ligação não varia com o aumento da quantidade do adsorvato, e é muito adequada para descrever o fenômeno de adsorção de íons no solo.

A expressão da isoterma de Langmuir linearizada permite calcular duas constantes importantes para a interpretação dos dados obtidos: o coeficiente relacionado à energia de ligação e a capacidade máxima de adsorção. As expressões nas formas hiperbólica e linear desta isoterma de adsorção de íons são

$$x/m = abC/(1 + aC)$$

$$C/x/m = 1/ab + (1/b)C, \text{ respectivamente, em que}$$

x/m = quantidade do íon adsorvido por unidade de solo;

C = concentração do íon na solução de equilíbrio;

a = coeficiente relacionado à energia de ligação; e

b = capacidade máxima de adsorção.

Os mesmos dados originais usados para ajuste da equação de Langmuir podem ser submetidos ao ajustamento da equação de Freundlich, a qual é expressa como

$$x/m = kC^{1/n}$$

em que k e n são constantes empíricas, x/m e C são definidos como para a equação de Langmuir. A isoterma de Freundlich é sustentada por pressupostos empíricos, e suas constantes, sem qualquer significado físico, denotam decréscimo exponencial da energia de ligação com a saturação da superfície de adsorção (10). A forma linear dessa isoterma é

$$\log x/m = \log k + 1/n \log C$$

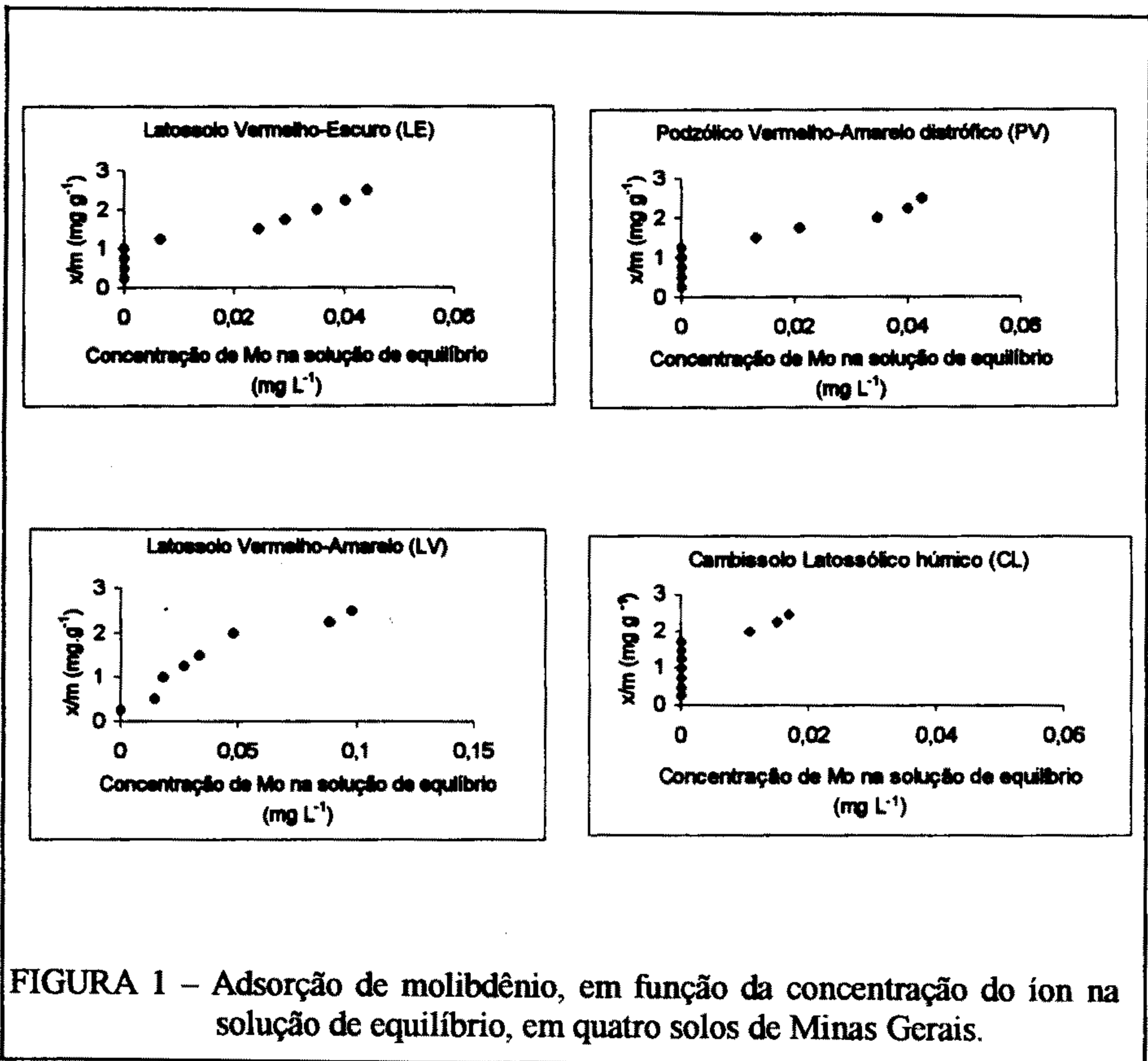
em que $1/n =$ declividade ($\text{tg } \alpha$) e $\log k =$ valor da interseção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos (Figura 1), pode-se afirmar que a adsorção de molibdênio (molibdato) pelos solos estudados cresce com o aumento da concentração do elemento na solução de equilíbrio. Observa-se que os solos Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho-Escuro, que contêm alto teor de argila, retêm quantidades relativamente altas de molibdato. Em contrapartida, o Latossolo Vermelho-Amarelo, com baixo teor de argila, apresentou menor retenção de molibdato. O teor de argila desse solo é de 27%, enquanto o dos outros dois encontra-se próximo a 55% (Quadro 1). Por outro lado, a retenção de grandes quantidades de molibdato pelo Cambissolo Latossólico húmico não pode ser atribuída ao conteúdo de argila desse solo. Possivelmente, a presença de silte e o tipo de material orgânico desses solo está contribuindo para tal comportamento. Vale salientar que, embora o conteúdo de carbono orgânico obtido pelo método Yeomans e Bremner (17) tenha sido relativamente baixo, o aspecto da amostra parece indicar alto conteúdo de matéria orgânica.

Verifica-se, ainda, que no caso da amostra LV o nível de saturação de molibdato do solo foi atingido (Figura 1), obtendo-se, por isso, uma curva hiperbólica, que é uma característica importante para o ajuste à isoterma de Langmuir.

Estudos de Siqueira (13) mostram que a adsorção máxima de molibdato ocorre com $\text{pH} \cong 4,0$, o qual está próximo ao valor do pK da primeira dissociação do ácido molíbdico ($\cong 4,5$). Isto parece indicar que os resultados obtidos no presente trabalho se aproximam da adsorção máxima, pois os valores de pH das suspensões provavelmente estão por volta de 4,5, a julgar pelo pH das amostras determinado em solução de $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (Quadro 2).



Para duas amostras de solo (LE e LV) ajustou-se a isoterma de Langmuir de forma fragmentada, pois observaram-se regiões de distinta retenção de molibdato, conforme mostra a Figura 1. De acordo com Novais e Smyth (10), no estudo de adsorção de fósforo tem-se encontrado um relacionamento não-linear entre $C/x/m$ e a variável de concentração (C), com a ocorrência de duas ou mais retas com diferentes declividades e interseções. Isso revela a existência de duas ou mais populações de sítios ou “regiões” com diferentes “energias de ligação”. Embora as observações de Novais e Smyth (10) sejam indicadas para fósforo, acredita-se que isso também possa ocorrer com o molibdato no solo, tendo em vista o comportamento semelhante desses ânions. Com efeito, Theng (14) verificou que um solo, cuja constituição mineral da fração argila era predominantemente caulinita e ilita, apresentava a isoterma de adsorção de molibdênio, a pH 4, com duas distintas regiões de adsorção, indicando dois sítios energeticamente distintos de reação.

De acordo com Roy et al. (11), sobre a adsorção competitiva de ânions, a adsorção de molibdato é muito semelhante à do fosfato, haja visto a sua característica endotérmica. No entanto, há diferenças bastante expressivas se comparada a magnitude do valor da força de ligação química desses ânions. Ainda segundo Roy et al. (11), a força de ligação do ânion fosfato é maior do que do ânion molibdato e que pelos valores de q_{iso} (calor isostérico de adsorção) a adsorção de HPO_4^- é favorecida pela presença de MoO_4^{2-} .

Após ajuste dos dados pela equação de Langmuir, verificou-se que os solos, de acordo com os valores de 'a', possuem afinidade de adsorção por molibdato na seguinte seqüência: $CL > LE > PV > LV$ (Quadro 3). Esta seqüência aponta a importância da argila no processo de adsorção. Sabe-se que as partículas de argila apresentam maior capacidade de adsorção de íons do que as partículas de areia ou silte, graças à sua grande superfície específica. Isto porque a argila é a fração ativa do solo, sendo responsável por quase todas as reações físico-químicas que ocorrem nele. Contudo, teor expressivo de silte somado com teor de argila pode aumentar a capacidade de adsorção de íons de alguns solos, dependendo de suas próprias características, como, por exemplo, o tipo de mineral presente. Vale salientar que, embora não tenham sido realizadas análises mineralógicas nos solos estudados, estes devem se comportar de modo semelhante quanto ao tipo de minerais presentes. Sendo solos de região tropical, tem-se dominância de caulinita na fração argila com a presença de óxidos de ferro em menor ou maior proporção, dependendo do croma do solo que pressupõe a presença de hematita com matizes mais avermelhadas e dominância de goethita nos solos mais amarelados. No caso do solo CL, a despeito do conteúdo de argila relativamente baixo, verificou-se um valor excepcionalmente elevado do coeficiente relacionado à energia de ligação do molibdato com a fase sólida deste solo. Este fato novamente revela a influência de outros fatores, possivelmente a presença de silte e, ou, tipo de matéria orgânica presente, conforme descrito anteriormente.

De acordo com os valores de 'b', quanto maior o conteúdo de argila, maior a capacidade máxima de adsorção de molibdato. É importante salientar, no caso dos solos LV e LE, que a primeira região de adsorção retém menor quantidade de molibdato do que a segunda região, embora os valores da energia de ligação daquelas regiões sejam maiores (Quadro 3).

O ajuste dos dados, utilizando-se isotermas de Freundlich originaram valores da constante k, que modificaram a ordem da seqüência, obtendo-se: $LE > CL > LV > PV$ (Quadro 3). Neste caso, observa-se maior interferência da matéria orgânica no processo de adsorção, pois esta é também a ordem decrescente do teor de matéria orgânica nos solos. É sabida que uma das principais características da matéria orgânica é a capacidade de formar ligações com íons em solução. Alguns complexos

formados entre a matéria orgânica e certos íons são considerados de alta afinidade, sendo, portanto, difíceis de serem rompidos.

De acordo com Houngh e Lee (6), a constante k representa a quantidade de adsorbato, por exemplo ânion molibdato, adsorvida quando a concentração (C) é igual a 1 e a constante "n" apresentar valor menor que 1. Graham (1953), citado por Jarrel e Dawson (8), estudando a equação de Freundlich como um caso especial da equação de adsorção de Langmuir, afirmou que a constante 'k' está relacionada à capacidade de adsorção total do solo. Tais afirmações parecem indicar que a constante 'k' representa a capacidade do solo em reter íons, podendo, desta forma, ser denominada fator de capacidade.

QUADRO 3 – Isotermas de Langmuir, para uma e duas regiões, e de Freundlich, ajustadas aos dados de adsorção de molibdênio e suas constantes em quatro solos de Minas Gerais						
Solos ¹	Equação de regressão ²	(R ²) ³	Isoterma de Langmuir		Isoterma de Freundlich	
			b ⁴	a ⁵	k ⁶	n ⁶
LE	$\hat{Y}_1 = 0,0001 + 0,6695 C$	0,997	1,49	6.695		
	$\hat{Y}_2 = 0,0145 + 0,0784 C$	0,868	12,76	5,41		
	$\hat{Y} = 1,5337 + 0,8436 \log C$	0,996			34,17	1,19
PV	$\hat{Y} = 0,0006 + 0,4432 C$	0,966	2,26	738,67		
	$\hat{Y} = 0,9064 + 0,3937 \log C$	0,935			8,06	2,54
LV	$\hat{Y}_1 = 0,0047 + 0,4966 C$	0,804	2,01	105,66		
	$\hat{Y}_2 = 0,0086 + 0,3273 C$	0,965	3,06	38,06		
	$\hat{Y} = 0,9365 + 0,5269 \log C$	0,956			8,64	1,89
CL	$\hat{Y} = 2,0 \times 10^{-5} + 0,4621 C$	0,997	2,16	23.105		
	$\hat{Y} = 1,2009 + 0,4582 \log C$	0,937			15,88	2,18

¹Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa (LE); Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PV); Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (LV) e Cambissolo Latossólico húmico (CL). ² $Y = C/x/m$, em (mg L⁻¹)/(mg g⁻¹) e $Y = \log (x/m)$; C = concentração de equilíbrio, em mg L⁻¹ de Mo em solução. ³Coefficiente de determinação. ⁴Capacidade máxima de adsorção de molibdênio (mg g⁻¹). ⁵Coefficiente relacionado à energia de ligação (L mg⁻¹). ⁶Constantes.

CONCLUSÃO

Pelos ajustes às isotermas de Langmuir e Freundlich, pode-se concluir que o ânion MoO_4^{2-} apresenta afinidade tanto pela argila quanto pela matéria orgânica, já que a magnitude dos resultados de adsorção estão condizentes com os conteúdos desses dois componentes nos solos. Entretanto, a isoterma de Freundlich se mostrou mais adequada para descrever a adsorção de molibdênio em relação à isoterma de Langmuir, no que se refere a afinidade do ânion para com a matéria orgânica dos solos.

AGRADECIMENTO

Os autores são gratos ao professor Renildes Lúcio Ferreira Fontes pelas sugestões e contribuições ao Abstract.

REFERÊNCIAS

1. BARROW, N.J. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. *Soil Sci.*, 109: 282-8, 1970.
2. DALLPAI, D. L. Determinação espectrofotométrica de molibdênio em solos e tecido vegetal e adsorção de molibdato em alguns solos de Minas Gerais. Viçosa, MG, UFV, 1996. 56p. (Dissertação de mestrado).
3. DAVIES, E. B. Factors affecting molybdenum availability in soils. *Soil Science*, 81: 209-16, 1956.
4. EIVAZI, F.; SIMS, J. L. & CRUTCHFIELD, J. Determination of molybdenum in plant materials using a rapid automated method. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 13: 135-50, 1982.
5. FUGE, R. An automated method for determination of molybdenum in geological and biological samples. *Analyst*, 95: 171-6, 1970.
6. HOUNG, K. H. & LEE, D. Y. Comparisons of linear and nonlinear Langmuir and Freundlich curve-fit in the study of Cu, Cd and Pb adsorption on Taiwan soils. *Soil Sci.*, 163: 115-21, 1998.
7. HOROWITZ, A. Os íons do molibdênio no solo - Um exemplo da aplicação dos diagramas Eh - pH. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2: 98-103, 1978.
8. JARREL, W. M. & DAWSON, M. D. Sorption and availability of molybdenum in soils of western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 412-5, 1978.
9. KARIMIAN, N. & COX, F. R. Adsorption and extractibility of molybdenum in relation to some chemical properties of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 757-61, 1978.
10. NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, UFV, 1999. 399 p.
11. ROY, W. R.; HASSETT, J. J. & GRIFFIN, R. A. Quasi-thermodynamic basis of competitive-adsorption coefficients for anionic mixtures in soils. *J. Soil Sc.*, 40: 9-15, 1989.
12. SANTOS, O. S. dos. Molibdênio. In: Ferreira, M. E. & Cruz, M. C. P. (eds.). *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.191-217.
13. SIQUEIRA, C. Adsorção de molibdato em Latossolos sob vegetação de cerrado. Rio de Janeiro, UFRJ, 1976. 86 p. (Dissertação de mestrado).

14. THENG, B. K. G. Adsorption of molybdate by some crystalline and amorphous soil clays. *N. Zeland J. Sc.*, 14: 1040-56, 1971.
15. WU, C. H.; LO, S. L. & LIN, C. F. Competitive adsorption of molybdate, chromate, sulfate, selenate and selenite on γ -Al₂O₃. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 166: 251-9, 2000.
16. YATSIMIRSKII, K. B. The use of catalytic reactions involving hydrogen peroxide in the study of formation of complexes and in the development of very sensitive analytical methods. In: Balandin, A.A.; Bielanski, A.; Boreskov, G.K. et al. (eds.). *Catalysis and chemical kinetics*. New York, Academic Press, 1964. p. 201-6.
17. YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19: 1467-76, 1988.