

Adsorção de Cu, Zn e P em solos adubados com dejetos animais

O uso de dejetos de animais na agricultura representa a adição de macro e micronutrientes, entre eles o fósforo (P), o cobre (Cu) e o zinco (Zn). Fatores como tempo e dose de aplicação podem ocasionar impactos ambientais. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho foi determinar a capacidade máxima de adsorção (CMA) de Cu, Zn e P do solo para verificar a aptidão de áreas já submetidas à disposição de dejetos de animais. Utilizaram-se amostras de solo (0-10 cm) de duas áreas experimentais de campo, localizadas no Oeste de Santa Catarina, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Na área experimental 1, foram avaliados os tratamentos controle (C) com adubação mineral sem adição de fontes de nitrogênio; esterco líquido de suínos (ELS) e adubação mineral (AM). Na área experimental 2, foram avaliados os tratamentos testemunha (T), tratamento sem a adição de adubação; composto de esterco suíno (CES) e composto de esterco de aves (CEA). A fim de comparação foram coletadas 3 amostras de solo natural (SN) no entorno das áreas experimentais com solo com características similares na mesma profundidade. Foram empregadas soluções de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ e KH_2PO_4 com força iônica regulada. O ajuste foi realizado conforme Langmuir. As CMA de Cu e Zn foram consideradas altas, sendo os valores obtidos para o Cu superiores aos obtidos para Zn. Já para P as CMA foram muito inferiores, e, sendo o P adicionado em maior escala sugere-se cautela.

Palavras-chave: Adubação orgânica; Elementos-traço; Macronutrientes.

Adsorption of Cu, Zn and P in pigged soils with animal feed

The use of animal waste in agriculture represents the addition of macro and micronutrients, among them phosphorus (P), copper (Cu) and zinc (Zn). Factors like time and dose of application can cause environmental impacts. Thus, the objective of the present work was to determine the maximum adsorption capacity (MAC) of Cu, Zn and P of the soil to verify the suitability of areas already submitted to the disposal of animal waste. Soil samples (0-10 cm) of two field experimental areas, located in the west of Santa Catarina, were used in a randomized complete block design with three replicates. In experimental area 1, control treatments (C) with mineral fertilization without addition of nitrogen sources were evaluated; pig manure (ELS) and mineral fertilization (AM). In the experimental area 2, the control treatments (T), treatment without the addition of fertilization were evaluated; composed of swine manure (CES) and poultry manure compost (CEA). In order to compare, 3 samples of natural soil (SN) were collected around experimental areas with soil with similar characteristics at the same depth. Solutions of $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ and KH_2PO_4 with regulated ionic strength were used. The adjustment was performed according to Langmuir. The MACs of Cu and Zn were considered high, and the values obtained for Cu were higher than those obtained for Zn. For P, the CMA were much lower, and, with the P being added on a larger scale, caution is suggested.

Keywords: Organic fertilization; Trace elements; Macronutrients.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **04/12/2020**

Approved: **21/12/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Yara Jurema Barros 

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7836424645893531>
<http://orcid.org/0000-0003-3747-5838>
yarajuba@gmail.com

Carlos Alberto Bissani 

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8749888202116358>
<http://orcid.org/0000-0002-7279-4474>
carlos.bissani@ufrgs.br

Flavio Anastácio de Oliveira Camargo 

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2047801513928189>
<http://orcid.org/0000-0003-1080-0549>
fcamargo@ufrgs.br

Evandro Spagnollo 

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1216887562307008>
<http://orcid.org/0000-0003-2264-1418>
spagnollo@epagri.sc.gov.br

Deonilce Retka 

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0611200931733644>
<http://orcid.org/0000-0002-0713-9940>
deonilce.retka@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0035

Referencing this:

BARROS, Y. J.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; SPAGNOLLO, E.; RETKA, D.. Adsorção de Cu, Zn e P em solos adubados com dejetos animais. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.7, p.437-447, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0035>

INTRODUÇÃO

A suinocultura continua a ampliar suas atividades e, ao longo dos anos, mudou sua tecnologia e o manejo dos animais, com a criação em sistema intensivo, o qual é mais produtivo (GENTILINI et al., 2013). Com isso, vieram alguns problemas, como é o caso das águas residuárias, as quais são utilizadas como fertilizante. Tais resíduos são fontes de nutrientes, como N, P e K, contudo trazem em sua composição elementos-traço (ET), como o Cu, o Zn e o Mn, os quais são adicionados na dieta alimentar. Mesmo os micronutrientes, quando presentes em altas concentrações no solo, podem alcançar níveis tóxicos às plantas e aos microrganismos (CAMARGO et al., 2001).

Os ET podem acumular-se nos componentes do ambiente, onde manifestam sua toxicidade, sendo os solos e sedimentos seus locais de fixação (BAIRD, 2002). O solo possui uma capacidade finita de adsorver cátions e ânions, sendo esta propriedade função da composição do solo e de variáveis como pH e força iônica.

O aumento do pH do meio favorece a adsorção dos ET (CASAGRANDE et al., 2004; JORIS et al., 2012), pois ocorre dissociação de H^+ de grupos OH da matéria orgânica e de óxidos de Fe e de Al, aumentando assim as cargas negativas (ALLEONI et al., 2005). Porém, o contrário ocorre com a força iônica (CASAGRANDE et al., 2004).

Para o P, a adsorção aos coloides inorgânicos do solo dá-se em argilas silicatadas e oxi-hidróxidos, dependendo do grau desses sítios de carga positiva de saturação com P (RHEINHEIMER et al., 2003; BARROW, 2008). Isto ocorre em três estádios temporais: no estádio 1, os grupos $R-OH_2^+$ são neutralizados; no estádio 2, ocorrem as trocas de ligantes; e, no estádio 3, acontecem interações eletrostáticas entre o PO_4 e a superfície dos coloides (PARFITT, 1978, citado por OLIVEIRA et al., 2014).

O solo possui uma capacidade limitada para adsorver tanto cátions quanto ânions, sendo a relação entre a concentração de espécies adsorvidas nos sólidos e a sua concentração na solução representada por isotermas. Uma das isotermas mais utilizadas no caso do Cu, do Zn (NASCIMENTO et al., 2004; USMAN, 2008; BENDER et al., 2013) e do P é a do tipo L (Langmuir) (OLIVEIRA et al., 2014), a qual possui boa adequação para descrever o equilíbrio no solo, assim como prever a capacidade máxima de adsorção (CMA) de um solo, bem como concentrações nas condições de equilíbrio.

Os conhecimentos dos processos de adsorção no solo são essenciais para prevenir contaminação e difusão tanto dos ET quanto do P, os quais podem provocar impactos quando mal manejados. Assim, é importante avaliar-se os processos de adsorção de nutrientes, visando inferir sobre os impactos do acúmulo destes elementos no solo com a aplicação continuada de dejetos animais. O objetivo do presente trabalho foi determinar a capacidade máxima de adsorção (CMA) de Cu, Zn e P do solo para verificar a aptidão de solos que recebem a disposição de dejetos de animais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo teve por base amostras de solo coletadas de dois experimentos localizados em Chapecó, oeste do Estado de Santa Catarina, sobre um Latossolo Vermelho distroférico, conduzidos no Centro de

Pesquisa de Agricultura Familiar (CEPAF), da Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). O clima da região dos experimentos, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verão quente. O relevo é suave ondulado a ondulado.

O experimento 1 (de coordenadas geográficas 27°05'05.24"S e 52°38'00.97"O e 685 m de altitude) foi iniciado em 1996 e apresentou as seguintes sequências de culturas, todas em plantio direto: de 1996 a 1999 - milho/aveia preta; de 2000 a 2010 - sorgo ou milheto/aveia preta ou azevém (retirado 1º e 2º corte e deixado o 3º corte); a partir de 2011 - milho/aveia preta. Os tratamentos avaliados no presente estudo são: Controle (C): adubado sem N, Esterco Líquido Suíno (ELS), na dose 240 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e Adubação Mineral (AM), na mesma dose de N, com aplicação superficial de ureia em duas etapas a cada estação de inverno e verão.

O experimento 2 (de coordenadas geográficas 27°05'18.60"S e 52°38'17.59"O e 643 m de altitude) foi iniciado em 2005, tendo a seguinte sequência de culturas, todas em plantio direto: de 2005 a 2013 - milho/aveia/feijão/mucuna/milho; a partir de 2013 - milho/aveia preta. Os tratamentos avaliados no presente estudo foram os seguintes: Testemunha (T): sem adubação, Composto de Esterco Suíno (CES) e Composto de Esterco de Aves (CEA), ambos na dose 10 t ha⁻¹ ano⁻¹ em base seca, sendo aplicada a metade desta dose nos anos de cultivo com espécie leguminosa.

O solo foi coletado na profundidade de 0 a 10 cm, em mini trincheiras, com pá-de-corte, durante o mês de dezembro de 2015, passando por processo de secagem e posterior peneiramento em malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) para a determinação da CMA dos elementos em estudo.

Para fins de comparação também foram coletadas 3 amostras de solo natural (SN) no entorno das áreas experimentais com solo com características similares na mesma profundidade. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Química do Solo e no Laboratório de Fertilidade do Solo na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Caracterização química, física e mineralógica do solo

A caracterização química foi baseada em Tedesco et al. (1995), com exceção dos teores de carbono orgânico (CO) e de nitrogênio foram determinados por combustão seca em analisador modelo Analisador CN Fisher Scientific Modelo Flash 2000. As análises físicas realizadas foram a determinação da capacidade de campo (CC), em mesa de tensão com pressão de 6 kPa, e a análise textural, pelo método da pipeta, segundo EMBRAPA (1997).

Quanto às análises relacionadas à mineralogia do solo, foram determinados os teores de ferro cristalino e de baixa cristalinidade (amorfo) conforme Donagema et al. (2011). Os tratamentos foram comparados por área por meio de ANOVA e pelo teste de Tukey a 5% de significância, por meio do programa Sisvar (FERREIRA, 2014). Nas Tabelas 1, 2 e 3 pode ser visualizada a adição dos nutrientes ao longo do tempo pela aplicação dos dejetos animais, e na Tabela 4, a caracterização química, física e mineralógica do solo das áreas dos experimentais.

Tabela 1: Adição de nutrientes desde o início do experimento pela aplicação de esterco líquido suíno (ESL)

Ano	N	P	K	Cu	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
1997	240	49	70	2,3	2,8	2,2
1998	240	86	101	2,3	2,8	2,2
1999	240	62	114	2,3	2,8	2,2
2000	240	42	62	2,3	2,8	2,2
2001	240	59	73	2,3	2,8	2,2
2002	240	49	78	1,4	4,0	2,0
2003	240	77	132	2,3	2,8	2,2
2004	240	61	165	1,7	4,1	1,9
2005	240	70	111	2,7	5,3	4,3
2006	240	55	77	1,3	3,1	1,9
2007	240	64	66	0,8	2,6	2,6
2008	240	45	59	1,0	1,8	1,5
2009	240	90	61	2,1	3,0	1,4
2010	240	103	45	2,8	1,5	3,2
2011	240	90	97	2,5	2,0	2,5
2012	240	104	99	1,8	1,4	1,6
2013	240	52	126	3,5	1,6	2,4
2014	240	36	170	1,8	1,7	0,9
2015	240	85	135	5,3	5,0	2,7
Total	4560	1277	1843	42	54	42

Tabela 2: Adição de nutrientes desde o início do experimento pela aplicação de composto de esterco suíno (CES)

Ano	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹							
2003	160	68	142	107	50,1	10,7	23,3	28,1
2004	141	98	185	106	50,1	10,7	23,3	28,1
2005	92	46	56	18	15,5	5,2	17,9	11,3
2006	142	120	92	71	36,0	28,6	56,5	40,4
2007	74	67	58	32	40,0	14,9	36,3	27,6
2008	136	123	118	88	53,0	20,3	72,1	57,2
2009	59	51	69	29	13,0	6,4	7,5	23,8
2010	129	72	148	90	27,0	23,0	30,0	27,0
2011	80	51	87	98	44,0	2,5	2,9	2,5
2012	201	117	135	160	67,0	3,2	4,8	22,4
2013	261	130	165	190	94,0	6,0	6,6	45,3
2014	261	130	165	190	94,0	6,0	6,6	45,3
2015	231	84	176	209	67,0	1,6	15,7	5,9
Total	1966	1157	1595	1387	651	139	303	365

Tabela 3: Adição de nutrientes desde o início do experimento pela aplicação de composto de esterco de aves (CEA)

Ano	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹							
2003	168	49	128	363	85	6,6	21,3	13,9
2004	401	136	265	363	85	6,6	21,3	13,9
2005	134	62	116	346	72	2,2	5,3	5,3
2006	283	152	251	82	92	9,5	53,1	31,8
2007	108	94	130	32	73	5,4	30,1	17,6
2008	352	151	177	292	103	17,0	32,9	12,5
2009	150	65	153	282	86	10,9	18,2	15,6
2010	224	131	98	1309	62	14,0	64,0	46,0
2011	126	53	42	431	30	0,7	4,1	2,7
2012	392	230	275	376	103	2,9	5,2	3,3
2013	245	139	185	230	91	1,6	7,6	6,1
2014	245	139	185	230	91	1,6	7,6	6,1
2015	359	323	434	382	134	7,3	6,5	5,7
Total	3186	1724	2438	4717	1106	86	277	180

Tabela 4: Caracterização química, física e mineralógica do solo das áreas dos experimentos 1 e 2 (médias de três repetições)

Variável	Unidades	Experimento 1				Experimento 2				SN						
		C	ELS	AM	CV (%)	T	CES	CEA	CV (%)							
pH		5,9	a	5,5	ab	5,0	b	4,76	6,2	b	6,3	ab	6,8	ab	3,01	3,9
H+Al	cmol _c kg ⁻¹	4,0	a	4,6	a	6,8	a	38,35	3,1	a	2,8	a	2,4	a	15,01	25,1

Al ³⁺		0,0	a	0,0	a	1,2	a	207,84	0,0	a	0,0	a	0,0	a	0,00	4,5
Na ⁺		0,1	a	0,1	a	0,1	a	3,85	0,1	b	0,3	a	0,3	a	2,20	nd
K ⁺		0,3	ab	0,4	a	0,2	b	20,05	0,2	b	0,8	a	0,9	a	20,08	0,7
Ca ²⁺		4,5	a	4,4	a	2,6	a	26,63	5,9	b	7,5	ab	9,1	a	13,46	1,8
Mg ²⁺		0,5	a	0,5	a	0,2	a	36,45	0,6	a	0,7	a	0,6	a	9,55	0,7
S		5,4	a	5,3	a	3,0	a	25,05	6,8	b	9,4	ab	10,9	a	12,59	3,2
CTC efetiva		5,4	a	5,3	a	4,2	a	9,23	6,8	b	9,4	ab	10,9	a	12,59	7,2
CTC Total		9,4	a	9,9	a	9,9	a	9,82	9,9	a	12,2	a	13,3	a	11,32	27,9
m		0,7	a	0,2	a	26,7	a	198,83	0,0	a	0,0	a	0,0	a	0,00	61,3
V	%	57,1	a	53,3	a	34,7	a	24,35	67,9	b	77,2	a	81,9	a	4,16	10,7
N		2,1	a	2,4	a	2,3	a	6,40	1,8	b	2,9	a	2,6	ab	10,40	nd
C org	g kg ⁻¹	24,9	a	27,8	a	27,1	a	7,78	21,0	b	32,0	a	27,2	ab	11,39	33,9
Relação C/N		11,6	a	11,6	a	11,5	a	1,81	11,4	a	11,1	ab	10,6	b	2,30	nd
P	mg kg ⁻¹	390,5	a	335,8	a	317,8	a	17,79	404,9	a	552,5	a	547,0	a	10,29	4,2
Areia		147,5	a	147,5	a	141,4	a	10,03	106,1	b	127,3	a	124,0	a	4,87	nd
Silte		269,5	a	319,7	a	273,3	a	10,24	345,6	a	348,4	a	365,4	a	4,27	nd
Argila	g kg ⁻¹	583,0	a	532,7	a	585,4	a	4,57	548,3	a	524,2	a	510,6	a	2,95	455,0
CC		426,1	a	433,9	a	443,3	a	4,05	434,4	a	471,2	a	457,0	a	3,60	nd
Fe ₂ O ₃ Amorfo	g kg ⁻¹	21,5	a	21,5	a	21,6	a	0,04	21,5	a	21,6	a	21,5	a	0,14	21,6
Fe ₂ O ₃ Cristalino		123,1	a	122,9	a	125,5	a	3,30	114,3	a	110,9	a	110,4	a	2,92	76,3

nd: não determinado. C: controle; ELS: esterco líquido suíno; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves. SN: solo natural.

Em cada experimento, na linha, valores seguidos de mesma letra não diferem significativamente entre si (Tukey, $p < 0,05$).

Adsorção de Cu, Zn e P

Para avaliar o comportamento adsorptivo do Cu e Zn do solo coletado nas parcelas experimentais foram preparadas suspensões de TFSA dos solos com doses crescentes de Cu(NO₃)₂ e Zn(NO₃)₂, em solução salina de Ca(NO₃)₂ com força iônica igual a 15 mmol L⁻¹, conforme Lopes et al. (2014) que também trabalharam com solos com aplicação de dejetos suínos. Já para o P, a força iônica foi ajustada com KCl 20 mmol L⁻¹ combinada com doses de P crescentes na forma de KH₂PO₄, previamente seco a 105°C por 2 horas.

As soluções, em função dos elementos empregados, foram: 50-100-200-300-600-900 mg L⁻¹ para Cu e Zn e 10-25-50-100-400-600 mg L⁻¹ para P. Após a adição das soluções nas amostras, na proporção de 5 g de solo para 50 mL de solução, em frascos tipo "snap cup", as suspensões foram submetidas a ciclos de agitação (12 horas de agitação e 12 horas de repouso) durante 72 horas. A quantificação dos teores de Cu e Zn remanescentes nas soluções de equilíbrio foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama (EAA) e o teor de P foi determinado pelo método de Murphy et al. (1962). A partir destes teores e das quantidades adicionadas, foram calculadas as quantidades adsorvidas pelo solo. As isotermas de adsorção foram ajustadas ao modelo de Langmuir, que é expresso pela seguinte equação:

$$x/m = (kCb)/(1 + kC)$$

Onde: x/m = quantidade adsorvida (adsorbato por unidade de massa do adsorvente); C = concentração de equilíbrio do adsorptivo; k = constante relacionada à energia de adsorção; b = quantidade máxima que o adsorptivo pode ser adsorvido.

Análise estatística

Os solos das parcelas experimentais foram comparados com amostras de solo sem interferência antrópica, coletadas no entorno das áreas experimentais, por meio de ANOVA e teste de Tukey a 5% de significância, por meio do programa Sisvar (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de adsorção de cobre, zinco e fósforo são apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente, demonstrando que o modelo de Langmuir foi adequado para descrever o comportamento sortivo destes elementos no solo (Tabela 5), apresentando R^2 acima de 0,85, enquanto os valores de capacidade máxima de adsorção (CMA) constam na Tabela 6.

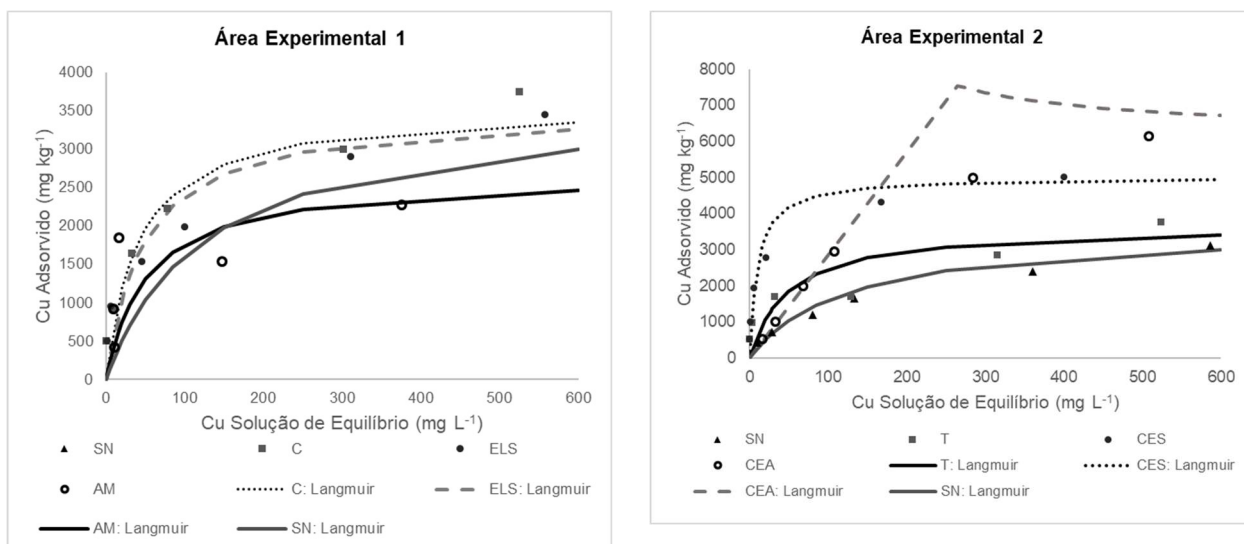


Figura 1: Comportamento adsorptivo do cobre.

C: controle; ELS: esterco líquido suíno; T: testemunha; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves; SN: solo natural.

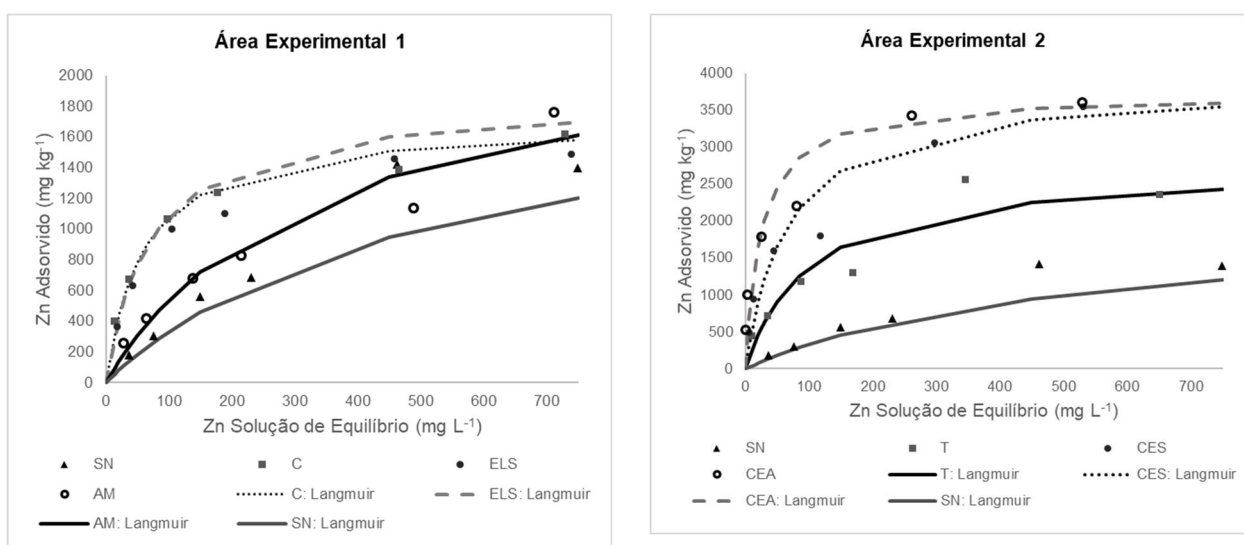


Figura 2: Comportamento adsorptivo do zinco.

C: controle; ELS: esterco líquido suíno; T: testemunha; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves; SN: solo natural.

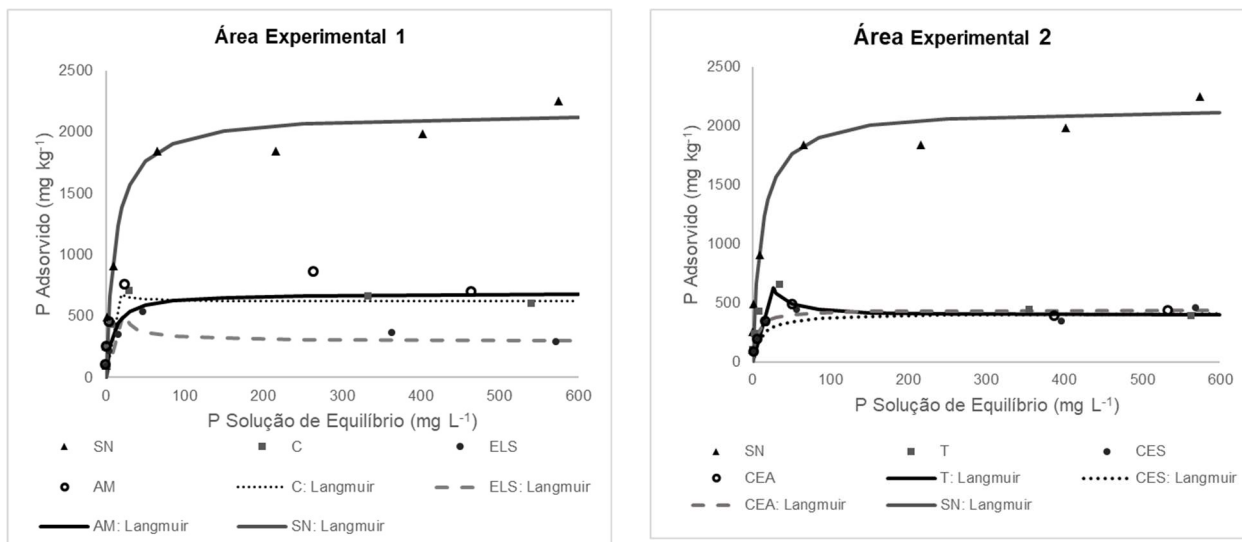


Figura 3: Comportamento adsorptivo do fósforo.

C: controle; ELS: esterco líquido suíno; T: testemunha; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves; SN: solo natural.

Tabela 5: Parâmetros de ajuste à equação de Langmuir

Tratamento	Equação	K	R ²
Cu			
Experimento 1			
C	$x/m = (85,92C)/(1 + 0,024C)$	0,024	0,981
ELS	$x/m = (74,77C)/(1 + 0,021C)$	0,021	0,973
AM	$x/m = (49,66C)/(1 + 0,019C)$	0,019	0,979
Experimento 2			
T	$x/m = (74,30C)/(1 + 0,020C)$	0,020	0,912
CES	$x/m = (503,2C)/(1 + 0,100C)$	0,100	0,995
CEA	$x/m = (-128,7C)/(1 - 0,021C)$	-0,021	0,982
Referência			
SN	$x/m = (29,22C)/(1 + 0,008C)$	0,008	0,963
Zn			
Experimento 1			
C	$x/m = (27,99C)/(1 + 0,017C)$	0,017	0,990
ELS	$x/m = (22,75C)/(1 + 0,014C)$	0,014	0,997
AM	$x/m = (6,654C)/(1 + 0,003C)$	0,003	0,856
Experimento 2			
T	$x/m = (27,48C)/(1 + 0,001C)$	0,010	0,957
CES	$x/m = (57,88C)/(1 + 0,015C)$	0,015	0,971
CEA	$x/m = (144,98C)/(1 + 0,039C)$	0,039	0,991
Referência			
SN	$x/m = (5,533C)/(1 + 0,002C)$	0,002	0,897
P			
Experimento 1			
C	$x/m = (-379,3C)/(1 - 0,616C)$	-0,616	0,997
ELS	$x/m = (-31,69C)/(1 - 0,107C)$	-0,107	0,985
AM	$x/m = (81,01C)/(1 + 0,118C)$	0,118	0,999
Experimento 2			
T	$x/m = (-39,19C)/(1 - 0,100C)$	-0,100	0,993
CES	$x/m = (39,49C)/(1 + 0,094C)$	0,094	0,969
CEA	$x/m = (86,31C)/(1 + 0,197C)$	0,197	0,994
Referência			
SN	$x/m = (192,6C)/(1 + 0,089C)$	0,089	0,992

C: controle; ELS: esterco líquido suíno; T: testemunha; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves; SN: solo natural.

Para a CMA de Cu não houve diferença significativa na área 1, contudo foram encontradas correlações positivas entre está e algumas outras variáveis (Tabela 7), como o pH e a CTC. Linhares et al. (2010) também encontraram correlação positiva entre a CMA de Cu e o pH do solo, o qual, assim como neste

trabalho, também não foi corrigido no procedimento.

Além disso, Alleoni et al. (2005), estudando atributos do solo relacionados à adsorção de Cd e Cu, encontraram que o pH do solo teve influência significativa na adsorção do Cu nos solos, provocando alterações na densidade de carga elétrica da superfície dos minerais de carga variável, sendo que com o aumento do pH ocorre a dissociação de H⁺ de grupos OH da matéria orgânica e de óxidos de Fe e de Al, aumentando assim as cargas negativas, o que possibilita maior adsorção do Cu.

Entretanto, na área 2, houve diferenciação, uma vez que os dois tratamentos que receberam adição de dejetos (CES e CEA) quando comparados ao controle (C) apresentaram maiores valores de CMA de Cu. Isto possivelmente foi proporcionado por diferentes doses de adição de P na área 2, o que resultou em correlação positiva (Tabela 7). Segundo Pierangeli et al. (2004), aumenta a carga líquida negativa presente nas camadas superiores do solo, proporcionando aumento do poder de retenção de Cu e Zn nos óxidos de ferro e alumínio e na matéria orgânica.

Tabela 6: Capacidade máxima de adsorção de cobre, zinco e fósforo do solo

Elementos Traço	Área Experimental 1						CV (%)	
	C	ELS	AM	SN				
	g kg ⁻¹							
Cu	3,58	a	3,56	a	2,61	a	3,65	11,03
Zn	1,65	a	1,62	a	2,22	a	2,77	18,70
P	0,62	a	0,30	a	0,69	a	2,16	34,68
Elementos Traço	Área Experimental 2						CV (%)	
	T	CES	EA	SN				
	g kg ⁻¹							
Cu	3,72	b	5,03	a	6,13	a	3,65	8,62
Zn	2,75	a	3,86	a	3,72	a	2,77	11,76
P	0,39	a	0,42	a	0,44	a	2,16	26,05

C: controle; ELS: esterco líquido suíno; T: testemunha; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves; SN: solo natural.

Tabela 7: Correlações entre a capacidade máxima de adsorção de cobre, zinco e fósforo do solo e características químicas do solo

Área Experimental 1							
CMA	pH	K	Ca	S	CTC efetiva	C	P
Cu	0,82*	0,71**	0,90*	0,91*	0,85*	0,02	0,55
Zn	-0,43	-0,51	-0,34	-0,02	0,33	0,26	0,39
P	-0,34	-0,47	-0,62	-0,20	-0,12	-0,10	0,16
Área Experimental 2							
Cu	0,62	0,85*	0,82*	0,85*	0,85*	0,60	0,83*
Zn	0,30	0,88*	0,64	0,73**	0,73**	0,75**	0,90*
P	0,66	0,10	-0,36	-0,29	-0,29	-0,30	0,24

PT: teor pseudo total; K: teor disponível; Ca: teor trocável; S: soma de bases; CO: carbono orgânico; P: teor disponível. *significativo a 1%; **significativo a 5%.

No que diz respeito à CMA de Zn, não houve diferença significativa entre os tratamentos de adubação de cada área. Porém, os valores da área 2 foram superiores nas parcelas com aplicação de dejetos animais, também possivelmente devido à adição concomitante de P (r= 0,90*) pelos tratamentos CES e CEA, sendo que os teores de P encontrados nos solos destes tratamentos possuem incremento de mais de 100 mg kg⁻¹ deste nutriente (Tabela 4).

Segundo Moreira et al. (2010), que estudaram a adsorção de Cu, Zn, Cd e Ni em 14 solos, a sequência de afinidade de adsorção para tais cátions foi Cu>Zn>Ni>Cd em sistema não-competitivo, o que é

corroborado no presente trabalho, uma vez que as CMA de Cu foram maiores que as de Zn. Estudos demonstram que quando o Cu e o Zn são colocados em um sistema competitivo o Cu tem sido adsorvido preferencialmente e sua presença afeta a retenção de Zn (AGBENIN et al., 2004; ARIAS et al., 2006; SIPOS et al., 2008). Os valores absolutos obtidos de CMA de Cu e Zn podem ser considerados altos, uma vez que diversos trabalhos apontam quantidades inferiores. É o caso do trabalho de Linhares et al. (2010), que encontraram $0,874 \text{ g kg}^{-1}$ para um Latossolo Vermelho distroférico de área natural com pouco menos de 500 g kg^{-1} de argila e pH 4,98; contudo em um Chernossolo este valor aumentou para $1,168 \text{ g kg}^{-1}$ de adsorção de Cu (524 g kg^{-1} de argila e pH 7,52). Para Zn os mesmos solos apresentaram 0,439 e $0,627 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente. Nascimento et al. (2004), trabalhando com vários tipos de Latossolos, encontraram valores de CMA entre 1,08 e $2,08 \text{ g kg}^{-1}$ para Cu e 1,11 e $2,18 \text{ g kg}^{-1}$ para o Zn.

Entretanto, outras pesquisas apontam que é possível o solo possuir uma maior CMA. Zuhairi (2003), trabalhando com solos com argila variando entre 210 e 570 g kg^{-1} de argila com pH alcalino na região sul de Gales no Reino Unido, encontraram CMA de 2,325 a $21,978 \text{ g kg}^{-1}$ para o Cu e 1,648 a $13,624 \text{ g kg}^{-1}$ para o Zn. Fu et al. (2015), trabalhando com solos distintos na China, os quais receberam aplicação de palha ou dejetos, observaram que na maioria dos solos houve uma maior retenção de Cu devido à matéria orgânica adicionada. Os valores para CMA de Cu relacionada à adição de dejetos suíno foi da ordem de $13,699 \text{ g kg}^{-1}$ para um solo com 397 g kg^{-1} de argila e pH 7,1.

Quanto à CMA de P, os resultados das áreas e entre as áreas foram similares; todavia, como esperado, o solo natural (SN) apresentou uma CMA muito superior, já que os solos das áreas experimentais possuem mais de 300 mg kg^{-1} de P em relação a $4,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na área natural (Tabela 8), além de possuir uma maior quantidade de cargas positivas pelo menor pH, apesar da menor quantidade de óxidos cristalinos de Fe. Rheinhemeier et al. (2003), trabalhando com sorção de P no comparativo com e sem adição inicial de P, encontraram valores para a CMA na faixa de 1,15 e $1,13 \text{ g kg}^{-1}$ para sem e com a inclusão de P para um Latossolo Vermelho distroférico oriundo de basalto, sendo está mais alta em plantio direto. Rolim Neto et al. (2004), analisando perfis de diferentes solos, encontraram valores de 0,91 a $2,98 \text{ g kg}^{-1}$, o que ajuda a justificar a CMA de P encontrada para o SN.

CONCLUSÕES

O Cu demonstrou maior CMA pelo solo, seguido pelo Zn e o P, sendo que a adição de P via dejetos tendeu a favorecer a adsorção de Cu e Zn na área experimental 2. De forma geral, as CMA de Cu e Zn foram altas demonstrando a aptidão deste tipo de solo para a retenção de ET, porém deve-se ter cautela com a contínua adição de dejetos animais devido às quantidades de fósforo adicionadas.

AGRADECIMENTOS: À CAPES, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS e ao pessoal da Epagri Chapecó.

REFERÊNCIAS

- AGBENIN, J. O.; OLOJO, L. A.. Competitive adsorption of copper and zinc by a Bt horizon of savanna Alfisol as affected by pH and selective removal of hydrous oxides and organic matter. **Geoderma**, Amsterdam, v.119, p.85-95, 2004.
- ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A.. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.04, p.729-737, 2005. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v27i4.1348>
- ARIAS, M.; PÉREZ-NOVO, C.; LÓPEZ-PERAGO, J. E.; SOTO, B.. Competitive adsorption and desorption of copper and zinc in acid soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.133, n.03/04, p.151-159, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.07.002>
- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BARROW, N. J.. The description of sorption curves. **European Journal Soil Science**, London, v.59, p.900-910, 2008.
- BENDER, M. A.. Adsorção de zinco e cobre em Latossolo Vermelho submetido a aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. **Anais**. Florianópolis, p.1-4, 2013.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E.. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPQ, 2001.
- CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; ARNONE, A. D.. Effects of pH and ionic strength on zinc sorption by a variable charge soil. **Communications in soil science and plant analysis**, London, v.35, n.15-16, p.2087-2095, 2004.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.. **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- FERREIRA, D. F.. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.2, p.109-112, 2014.
- FU, F.; GUO, W.; WHANG, R.; ZHANG, X.. Effect of dissolved organic matter from wheat straw or swine manure on the Cu adsorption in three Chinese soils. **Soil & Sediment Contamination**, v.24, n.6, p.624-638, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1080/15320383.2015.996632>
- GENTILINI, F. P.; ANCIUTI, M. A.. **Tópicos atuais na produção de suínos e aves**. Pelotas: Instituto Federal Sul-rio-grandense, 2013.
- JORIS, H. A. W.; FONSECA, A. F.; ASAMI, V. Y.; BRIEDIS, C.; BORSZWSKEI, P. R.; GARBUIO, V. F. J.. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.43, n.1, p.1-10, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100001>
- LINHARES, L. A.; EGREJA FILHO, F. B.; BELLIS, V. M.; SANTOS, E. A.; IANHEZ, R.. Utilização dos modelos de Langmuir e de Freundlich na adsorção de cobre e zinco em solos Brasileiros. **Acta Agrônômica**, Bogotá, v.59, n.3, p.303-315, 2010.
- LOPES, C.; CAMPOS, M. L.; SILVEIRA, C. B.; GATIBONI, L. C.; MIQUELUTTI, D. J.; CASSOL, P. C.; MEDEIROS, Í. F.. Adsorção de Cu e Zn num Latossolo Vermelho tratado com dejetos suínos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, n.6, p.997-1005, 2014.
- MOREIRA, C. S.; ALLEONI, L. R. F.. Adsorption of Cd, Cu, Ni and Zn in tropical soils under competitive and non-competitive systems. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.67, n.3, p.301-307, 2010.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P.. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal Chim Acta**, Oxford, v.27, p.31-36, 1962.
- NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.. Correlação entre características de Latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.965-971, 2004.
- OLIVEIRA, C. M. B.; GATIBONI, L. C.; MIQUELUTTI, D. J.; SMYTH, T. J.; ALMEIDA, J. A.. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Langmuir. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1805-1815, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600015>
- PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURTI, N.; ANDERSON, S. J.; LIMA, J. M.. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de Latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.377-384, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200016>
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejos de solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.41-49, 2003.
- ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M.. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.953-964, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600003>
- SIPOS, P.; NÉMETH, KIS, V. K.; MOHAI, I.. Sorption of copper, zinc and lead on soil mineral phases. **Chemosphere**, Oxford, v.73, n.04, p.461-469, 2008.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

USMAN, A. R. A.. The relative adsorption selectivities of Pb, Cu, Zn, Cd and Ni by soils developed on shale in New Valley, Egypt. **Geoderma**, Amsterdam, v.144, p.334-343, 2008.

ZUHAIRI, W. Y. W.. Sorption capacity on lead, copper and zinc by clay soils from South Wales, United Kingdom. **Environmental Geology**, v.45, p.236-242, 2003.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.