



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D.
ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DO MILHO DECORRENTES DA ADIÇÃO
DE LODOS DE CURTUME

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 1, 2002, pp. 257-265

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180217643028>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DO MILHO DECORRENTES DA ADIÇÃO DE LODOS DE CURTUME⁽¹⁾

E. E. KONRAD⁽²⁾ & D. D. CASTILHOS⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho foi elaborado com o objetivo de avaliar as alterações químicas e o crescimento de plantas de milho em um Planossolo Hidromórfico após a aplicação de resíduos de curtume. Foram utilizados o lodo proveniente do decantador primário (lodo com cromo), nas doses correspondentes à aplicação de 250 e 500 mg kg⁻¹ de Cr (13,8 e 27,6 Mg ha⁻¹, respectivamente), e o efluente do caleiro (lodo do caleiro), nas doses de 10,25 e 20,50 Mg ha⁻¹. O experimento foi realizado em vasos mantidos em casa de vegetação durante 108 dias. A aplicação máxima de lodo do caleiro elevou o pH de 4,9 para 5,8 e os teores de Ca do solo de 0,5 para 3,2 cmol_c dm⁻³, resultando em rendimentos de milho equivalentes aos obtidos com adubação mineral mais calagem. A adição de lodo com cromo mais calcário elevou o teor de N total do solo de 0,6 para 0,7 g kg⁻¹, resultando em rendimentos também semelhantes aos obtidos com o tratamento NPK + calcário. Os teores de Cr no solo permaneceram abaixo do limite máximo permitido (500 mg kg⁻¹).

Termos de indexação: pH, N total, Ca, Mg, condutividade elétrica, Na trocável.

SUMMARY: *SOIL CHEMICAL CHANGES AND CORN GROWTH AS AFFECTED BY THE ADDITION OF TANNERY SLUDGES*

This study was carried out to evaluate chemical changes and corn growth in an Albaqualf soil. The tannery wastes used were primary sludge with Cr at the rates of 13.8

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado, apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Recebido para publicação em janeiro de 2001 e aprovado em agosto de 2001.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Caixa Postal 354, CEP 96010-900 Pelotas (PR). E-mail: eekonrad@ufpel.tche.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, UFPel. E-mail: danilodc@ufpel.tche.br

and 27.6 Mg ha⁻¹ corresponding to 250 and 500 mg kg⁻¹ of Cr soil, respectively, and the sludge from liming, at the rates of 10.25 and 20.50 Mg ha⁻¹. The experiment was conducted in a greenhouse during 108 days. The liming sludge increased pH (4.9 to 5.8), soil Ca (0.5 to 3.2 cmol_c dm⁻³) and resulted in corn yields similar to those obtained with lime plus NPK. Cr sludge increased soil pH and soil N (0.6 para 0.7 g kg⁻¹). Corn yield with this treatment was similar to that obtained with NPK + lime. Cr concentrations in soil were considered below the maximum level permitted.

Index terms: pH, total N, Ca, Mg, electrical conductivity, exchangeable Na.

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul possui em torno de 200 indústrias curtumeiras que processam aproximadamente 14,4 milhões de peles por ano (55% do processamento brasileiro) (Pombo, 1995). Estima-se que uma pele produza cerca de 15 kg de resíduos sólidos e, destes, 7,5 kg decantem no fundo da lagoa de tratamento primário na forma de lodo. O método mais usado, atualmente, para a destinação final dos resíduos de curtume (lodos) é o acondicionamento em depósitos ou aterros sanitários, que apresentam alto risco em virtude do acúmulo e da concentração de material potencialmente tóxico, que pode ser lixiviado e contaminar os aquíferos.

A forma de Cr encontrada no resíduo de curtume originado da estação primária de tratamento (lodo) está no estado de oxidação trivalente. Esta forma de Cr, quando encontrada no solo em pH menores do que 3,6, é fortemente adsorvida por caulinitas e montmorilonitas. Acima de pH 5,5, forma óxidos e hidróxidos estáveis e de baixíssima solubilidade (Rai et al., 1989; Rutland, 1991). Os compostos orgânicos podem complexar o Cr³⁺ em pH acima de 5,5, fazendo com que o metal continue solúvel, até que encontre condições de precipitação. As formas não complexadas precipitam quase que completamente como Cr(OH)₃, em valores de pH entre 5,5 e 12,0, considerando sua baixa solubilidade (Kps = 2,9 x 10⁻²⁹) (Rai et al., 1989). A toxidez do Cr em solos cultivados é rara, por ocorrer como Cr³⁺, considerado de baixa mobilidade em sistemas naturais (Losi, 1994).

Vários trabalhos comprovam a eficiência de resíduos de curtume como bons fertilizantes e corretivos da acidez dos solos. Neste sentido, Castilhos (1998) verificou que, na aplicação de lodo com cromo + P e K, os rendimentos do trigo foram semelhantes aos do tratamento calcário + NPK e cerca de 16 vezes superiores ao rendimento da testemunha, conferindo ainda aos solos valores de pH e de N total semelhantes aos do tratamento NPK + Calcário, e teores de Ca duas vezes maiores em relação à testemunha.

Aquino Neto (1998) observou mineralização de 35,0 e 4,8%, em média, do N total aplicado por meio

dos resíduos de lodo do caleiro e de lodo com cromo, respectivamente, concluindo que os teores crescentes de Cr adicionados pelo lodo de até 494,5 mg kg⁻¹ diminuíram a velocidade de mineralização do N-orgânico de maneira acentuada. Kray (2001) constatou que a aplicação de lodo de curtume com cromo em quantidade adequada para elevar o pH do solo a 6,0 (22,4 Mg ha⁻¹) supriu o N necessário para as culturas de soja, milho e trigo, além de aumentar os teores de P disponível, Ca trocável e Zn extraível do solo. A utilização de duas vezes esta quantidade provocou um aumento excessivo do pH do solo, embora mostrando maior efeito residual do suprimento de N.

A adição de resíduos de curtume pode elevar a concentração de sais no solo, principalmente o lodo do caleiro, rico em Ca e em Na (Aquino Neto & Camargo, 2000). Em trabalho desenvolvido por Pombo (1995), a condutividade elétrica (CE) não foi alterada com a aplicação de lodo com cromo na dose de 22,2 Mg ha⁻¹.

O estudo do efeito corretivo e fertilizante dos resíduos de curtume pode levar a uma alternativa viável para a disposição desses materiais, evitando com isto os riscos de poluição ambiental. Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar as alterações nas características químicas do solo, a mobilidade do metal Cr em profundidade e o rendimento da cultura do milho resultante da adição de lodos de curtume.

MATERIAL E MÉTODOS

Solo

Foi utilizada a camada superficial (0-15 cm) do solo da unidade de mapeamento Pelotas, classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico (Streck et al., 1999). A caracterização físico-química, seguindo métodos descritos em Tedesco et al. (1995), indicou o seguinte: pH (H₂O) = 4,8; argila = 210,0 g kg⁻¹; matéria orgânica = 13,0 g kg⁻¹; P = 1,6 mg kg⁻¹; K = 26,0 mg kg⁻¹; Ca²⁺ = 1,4 cmol_c kg⁻¹; Mg²⁺ = 1,0 cmol_c kg⁻¹ e Al³⁺ = 1,5 cmol_c kg⁻¹.

Lodos

Os lodos utilizados foram coletados no Curtume Arthur Lange, município de Turuçu (RS), constando de lodo do caleiro, originado da etapa de depilação da pele, e de lodo com cromo, proveniente do tratamento primário das águas residuais do curtimento com Cr. A caracterização, segundo métodos descritos por Tedesco et al. (1995), consta do quadro 1.

Tratamentos

Após a coleta, o solo foi destorroado, seco ao ar e peneirado (2 mm). Utilizaram-se, como unidades experimentais, vasos de plástico com capacidade para 24 L. Os tratamentos adotados foram os seguintes: (1) testemunha; (2) NPK + calcário; (3) lodo do caleiro ($10,25 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK; (4) lodo do caleiro ($20,50 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK; (5) lodo com cromo ($13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK + calcário; (6) lodo com cromo ($27,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK + calcário; (7) lodo com cromo ($13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK.

As doses do NPK e do calcário do tratamento NPK + calcário foram determinadas de acordo com a análise do solo, utilizando a recomendação da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos - ROLAS (SBCS, 1995). Foram aplicados por kg de solo 130 mg de N (uréia), 48 mg de P (superfosfato triplo) e 96 mg de K (cloreto de potássio), respectivamente. O calcário foi aplicado na forma de mistura de CaCO_3 + MgCO_3 (2:1), na dose de $1,2 \text{ g kg}^{-1}$, para elevar o pH a 6,0, juntamente com os demais insumos e resíduos. A quantidade do resíduo lodo do caleiro, referente à menor dose (tratamento 3) foi obtida por meio da análise do poder de neutralização desse material e do pH SMP do solo, sendo determinada a quantidade necessária para elevar o pH a 6,0, duplicando-se a dose no tratamento 4. Para o resíduo lodo com cromo, as doses foram aplicadas de modo a incorporar ao solo 250 e 500 mg kg^{-1} de Cr. Assim, foram aplicados 6,9 e $13,8 \text{ g kg}^{-1}$ de lodo, correspondendo a doses de 13,8 e de $27,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente.

Realização

O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento completamente casualizado, com três repetições, num total de 21 unidades.

O solo, previamente misturado com os lodos (massa úmida) e insumos, foi acondicionado nos vasos, obedecendo a uma densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ (28 kg vaso^{-1}). Os vasos foram semeados com milho (*Zea mays*), cultivar Cargill C435 de ciclo precoce, logo após a instalação dos tratamentos e, 10 dias depois, realizou-se o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso.

Os vasos foram irrigados até o trigésimo dia com 250 mL de água destilada diariamente e, após esse período, com 500 mL por dia, até à colheita. A colheita do milho foi feita aos 108 dias de cultivo, após completa formação e secagem dos grãos. As espigas foram colhidas e as plantas cortadas logo acima das raízes. Todo o material colhido foi seco em estufa a cerca de 65°C até peso constante, determinando-se o peso da matéria seca total da parte aérea e o peso de grãos.

Amostragens e determinações

As amostras de solo foram retiradas aos 40, 80 e 120 dias de cultivo com trado calador, compreendendo oito subamostras da camada superficial (0-20 cm). Nessas amostras, conforme métodos descritos por Tedesco et al. (1995), foram determinadas as seguintes características: pH em água (relação 1:1); CE (relação 1:5); N total (micro-Kjeldahl); Ca e Mg trocáveis, extraídos com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica; Na trocável, extraído com solução Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e determinado por fotometria de chama. O Cr total foi extraído utilizando-se 0,5 g de solo que foi digerido com um total de 6 mL de HNO_3 concentrado, em duas parcelas de 3 mL, segundo método proposto por Missio (1996) e determinado em espectrofotômetro de absorção atômica.

Para os tratamentos que receberam o resíduo lodo com cromo, avaliou-se também o Cr em amostras

Quadro 1. Caracterização físico-química dos lodos de curtume utilizados

Característica	L. cromo	L. caleiro	Característica	L. cromo	L. caleiro
Umidade (g kg^{-1})	856,0	833,0	Ca (g kg^{-1})	31,0	180,0
pH	7,1	11,8	Mg (g kg^{-1})	1,5	2,2
Carbono orgânico (g kg^{-1})	593,0	298,0	Na (g kg^{-1})	5,9	42,3
Poder neutralização (%)	4,2	40,9	Cr^{3+} (g kg^{-1})	36,0	0,025
N (g kg^{-1})	34,1	25,9	Cr^{6+} (g kg^{-1})	0,0	0,0
P (g kg^{-1})	2,5	3,1	Relação C/N	17,4	11,5
K (g kg^{-1})	1,0	1,8			

coletadas na camada subsuperficial (20-30 cm). O Cr^{6+} foi extraído com solução KH_2PO_4 $0,06 \text{ mol L}^{-1}$ em amostras de solo úmido (Bartlett & James, 1979) e quantificado colorimetricamente a 546 nm, após complexação com difenilcarbazida. A razão de adsorção de sódio (RAS) foi calculada de acordo com Bohn et al. (1985).

Análise estatística

Procedeu-se à análise estatística dos dados por meio de análise da variação de classificações múltiplas balanceadas, comparação de médias pelo teste de Duncan (5%) e análise de correlação linear, com a utilização do programa SANEST da Universidade Federal de Pelotas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento das plantas

Os rendimentos de matéria seca de grãos e de colmos e folhas do milho obtidos com a aplicação de resíduos de curtume foram semelhantes aos do tratamento NPK + calcário, com exceção do resíduo lodo do caleiro na dose $10,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ e do lodo com cromo sem aplicação de calcário (Quadro 2). A menor produção observada nesses dois tratamentos, em relação ao tratamento NPK + calcário, deveu-se, provavelmente, às condições de maior acidez do solo e de menores teores de Ca e de Mg trocáveis decorrentes da não-aplicação de calcário. Os rendimentos observados com aplicação dos resíduos são ratificados, principalmente, pela liberação do N orgânico e subsequente transformação em formas e em teores suficientes para o desenvolvimento normal das plantas. Maiores suprimentos de N às plantas

pela aplicação de lodo com cromo ao solo têm sido observados nos trabalhos de Cavallet (1992), de Teixeira et al. (1997), de Castilhos (1998) e de Ferreira (1998).

Apesar de não terem sido constatadas diferenças estatísticas, os tratamentos que adicionaram lodo com cromo + calcário apresentaram rendimentos de grãos aproximadamente 130% superiores aos do tratamento com adubação mineral, acompanhados pelos tratamentos lodo do caleiro ($20,50 \text{ Mg ha}^{-1}$) e lodo com cromo sem calcário que foram, respectivamente, 2,0 e 1,7 vezes maiores.

pH

Os maiores valores de pH do solo encontrados foram resultantes da adição do resíduo lodo com cromo + calcário (Quadro 3). O tratamento lodo do caleiro apresentou valores de pH estatisticamente maiores do que os da testemunha e menores do que os do tratamento NPK + Calcário. O resíduo lodo com cromo apresentou um poder de neutralização baixo ($4,2\%$), o que representou, na dose de $13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, um efeito corretivo semelhante a uma incorporação ao solo de $0,58 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário. Esse efeito foi pequeno, ocorrendo diferença significativa nos valores de pH somente em comparação com a testemunha, na 1ª amostragem. Adicionando calcário ao lodo com cromo ($13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), verificou-se uma elevação do pH do solo em torno de 0,8 unidades, em relação ao tratamento NPK + calcário.

Avaliando o efeito do calcário juntamente com esse resíduo, constatou-se que a aplicação de $27,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ não diferiu significativamente em relação ao tratamento que adicionou a metade dessa dose. Este resultado confirma o baixo poder de neutralização (PN) do lodo com cromo e a sua ineficiência na correção do pH do solo.

Quadro 2. Rendimento de matéria seca de colmos e folhas, de grãos e matéria seca total do milho. Média de três repetições

Tratamento	Rendimento de matéria seca		
	Colmo e folha	Grão	Total
	g vaso ⁻¹		
Testemunha	37,0 d	0,3 c	37,3 c
NPK + calcário	154,7 a	11,3 ab	166,0 a
Lodo do caleiro ($10,25 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK	130,6 bc	11,5 ab	142,1 b
Lodo do caleiro ($20,50 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK	144,6 ab	22,4 ab	167,0 a
Lodo com cromo ($13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK + calcário	134,1 abc	25,6 a	166,3 a
Lodo com cromo ($27,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK + calcário	149,8 ab	26,3 a	176,1 a
Lodo com cromo ($13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) + PK	119,2 c	19,6 ab	138,8 b
C.V. (%)	11,2	20,6	14,1

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

O lodo do caleiro estudado apresentou um poder de neutralização de 40,9% (Quadro 1). Deste modo, a dose de 10,25 Mg ha⁻¹ representou uma adição de material corretivo (carbonatos e hidróxidos) correspondente a 4,2 Mg ha⁻¹ de calcário, mesma dose de corretivo aplicada pelo tratamento NPK + calcário. Este tratamento, embora tenha apresentado valores de pH significativamente superiores aos da testemunha, após 120 dias, mostrou uma lenta correção da acidez, evidenciada com os valores de pH de até 1,0 unidade menores em relação ao tratamento NPK + calcário. No tratamento que adicionou o dobro desta dose, os valores de pH foram maiores, porém, mesmo assim, inferiores aos do tratamento NPK + calcário. A baixa eficiência corretiva do lodo do caleiro é provavelmente explicada pela baixa solubilidade dos carbonatos e hidróxidos de Ca e Mg presentes nesse resíduo.

Nitrogênio total

Em geral, os teores de N total diminuíram após a primeira amostragem em todos os tratamentos, provavelmente por causa da absorção deste elemento pelo milho (Quadro 4). Os tratamentos que continham lodo com cromo, em termos gerais, apresentaram os maiores teores, superando os tratamentos com lodo do caleiro e NPK + calcário. Comparado aos tratamentos com lodo do caleiro, a diferença dos maiores teores de N a favor do tratamento lodo com cromo (27,6 Mg ha⁻¹) deveu-se basicamente ao maior teor de N total presente no resíduo (Quadro 1), que incorporou ao solo 940,0 kg ha⁻¹ de N. Na primeira amostragem, os teores de N observados nos tratamentos que continham lodo com cromo foram, em média, 0,13 g kg⁻¹ maiores do que os teores observados na testemunha, correspondendo a um acréscimo do 260 kg ha⁻¹ de N.

Quadro 3. Valores de pH do solo cultivado com milho em três amostragens após a aplicação dos lodos. Média de três repetições

Tratamento	Amostragem (dia)		
	40	80	120
Testemunha	4,5 fB	4,9 eA	4,9 eA
NPK + calcário	5,7 bB	6,1 bA	6,2 bA
Lodo do caleiro (10,25 Mg ha ⁻¹) + PK	5,1 dA	5,2 dA	5,2 dA
Lodo do caleiro (20,50 Mg ha ⁻¹) + PK	5,5 cB	5,8 cA	5,8 cA
Lodo com cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	6,5 aB	6,9 aA	6,9 aA
Lodo com cromo (27,6 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	6,7 aB	7,1 aA	7,0 aA
Lodo com cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK	4,7 eB	4,8 eAB	4,9 eA
C.V. (%) = 1,5			

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

Quadro 4. Teores de nitrogênio total do solo cultivado com milho. Média de três repetições

Tratamento	Amostragem (dia)		
	40	80	120
g kg ⁻¹			
Testemunha	0,71 cA	0,63 bB	0,60 bB
NPK + calcário	0,71 cA	0,61 bB	0,60 bB
Lodo do caleiro (10,25 Mg ha ⁻¹) + PK	0,78 bA	0,63 bB	0,63 bB
Lodo do caleiro (20,50 Mg ha ⁻¹) + PK	0,79 bA	0,61 bB	0,61 bB
Lodo com cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	0,82 abA	0,64 bB	0,61 bB
Lodo com cromo (27,6 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	0,87 aA	0,71 aB	0,70 aB
Lodo com cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK	0,84 abA	0,66 abB	0,66 abB
C.V. (%) = 4,8			

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

Castilhos (1998) também verificou aumentos de 0,22 e 0,25 g kg⁻¹ no teor de N total do solo, após a incorporação de 8,0 e 8,8 Mg ha⁻¹ de lodo contendo Cr que incorporaram, respectivamente, 518 e 563 kg ha⁻¹ de N.

O lodo do caleiro incorporou ao solo, por meio dos tratamentos com doses de 10,25 e 20,50 Mg ha⁻¹, o correspondente a 265 e 530 kg ha⁻¹ de N. Na primeira amostragem, verificou-se que os valores de N nesses tratamentos foram significativamente superiores (em torno de 10%) aos do tratamento NPK + calcário, mas esse efeito não foi observado nas outras épocas de amostragem do solo.

Cálcio e magnésio

A aplicação no solo de lodo com cromo (13,8 Mg ha⁻¹) incorporou 212 kg ha⁻¹ de Ca, elevando em cerca de duas vezes os teores desse elemento, em comparação à testemunha (Quadro 5). O tratamento, empregando a mesma dose de 13,8 Mg ha⁻¹ de lodo com cromo acrescido de calcário, não apresentou concentrações de Ca significativamente diferentes do tratamento NPK + calcário. Nesse caso, o valor de Ca encontrado no solo foi decorrente da aplicação do calcário e não da adição via lodo. No tratamento em que a dose de lodo com cromo foi duplicada, cerca de 28% do Ca incorporado foi liberado pelo resíduo, na média das três amostragens. Aumentos no teor de Ca também foram observados por Castilhos (1998), quando foram adicionados a um Argissolo 8,8 Mg ha⁻¹ de lodo de curtume correspondentes à incorporação de 168 kg ha⁻¹ de Ca.

O resíduo lodo do caleiro apresentou em sua composição elevado teor de Ca (180 g kg⁻¹). Com a sua aplicação, observou-se, pela média das três amostragens, que dos teores de Ca encontrados nos tratamentos que continham 10,25 e 20,50 Mg ha⁻¹ de lodo, 65,2 e 57,2%, respectivamente, eram originados do resíduo.

As quantidades de Mg adicionadas pelos resíduos foram baixas, aproximadamente 12 e 24 kg ha⁻¹, para os tratamentos com lodo do caleiro (doses de 10,25 e 20,50 Mg ha⁻¹ respectivamente), e 9,6 a 19,2 kg ha⁻¹, para os tratamentos com lodo com cromo (doses de 13,8 e 27,6 Mg ha⁻¹). Em virtude disto, não foram observados acréscimos significativos no teor de Mg com a aplicação dos resíduos de curtume, quando comparados aos do tratamento-testemunha.

Condutividade elétrica (CE) e sódio

Os maiores valores de CE observados ao longo do tempo experimental ocorreram no tratamento com lodo do caleiro na dose de 20,50 Mg ha⁻¹ (Quadro 6). Esses valores correlacionaram-se diretamente com os teores de Na disponível do solo ($r = 0,76$, significativo a 1%), o que demonstra a relação entre essas características em situações de aumento da salinidade no solo.

Todos os valores de CE encontrados neste experimento ficaram bem abaixo do índice citado por Brady & Weil (2000), que consideram como salinos aqueles solos cuja CE ultrapasse 4 mS cm⁻¹.

Os tratamentos que continham o resíduo lodo com cromo (13,8 e 27,6 Mg ha⁻¹) adicionaram ao solo quantidades de Na, respectivamente, equivalentes a 81,2 e 162,4 kg ha⁻¹, proporcionando valores de Na iguais a 1,5 e 1,8 vezes maiores dos que os do tratamento NPK + calcário (Quadro 7).

Já os tratamentos que continham o resíduo lodo do caleiro adicionaram 433,6 e 867,2 kg ha⁻¹ de Na, respectivamente, para as doses de 10,25 e 20,50 Mg ha⁻¹. Com isto, observaram-se teores de Na até 7,0 vezes superiores aos observados com a aplicação de NPK + calcário. Os efeitos na elevação dos teores de Na no solo após a aplicação de lodos de curtume também foram observados por Aquino Neto & Camargo (2000).

Quadro 5. Teores de cálcio e de magnésio trocáveis do solo cultivado com milho. Média de três repetições

Tratamento	Amostragem (dia)					
	Cálcio			Magnésio		
	40	80	120	40	80	120
	cmol _c kg ⁻¹					
Testemunha	0,4 f	0,5 f	0,5 f	0,6 c	0,6 b	0,6 c
NPK + calcário	3,7 ab	3,7 b	3,6 b	1,1 a	0,9 a	0,9 a
L.caleiro (10,25 Mg ha ⁻¹) + PK	1,9 d	2,0 d	2,0 d	0,6 c	0,5 b	0,5 c
L.caleiro (20,50 Mg ha ⁻¹) + PK	3,1 c	3,1 c	3,2 c	0,6 c	0,5 b	0,5 c
L.cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	3,6 b	3,7 b	3,8 b	1,0 a	1,0 a	0,9 a
L.cromo (27,6 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	3,9 a	4,0 a	4,0 a	0,9 b	0,8 a	0,8 b
L.cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK	0,9 e	1,0 e	0,9 e	0,9 c	0,6 b	0,6 c
C.V. (%)	5,1			10,9		

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%. A ausência de letras maiúsculas, na linha, significa semelhança estatística pelo teste de Duncan.

Quadro 6. Valores de condutividade elétrica. Média de três repetições

Tratamento	Amostragem (dia)		
	40	80	120
	mS cm ⁻¹		
Testemunha	0,02 cA	0,01 dA	0,02 eA
NPK + calcário	0,35 aA	0,12 bB	0,13 bB
L.caleiro (10,25 Mg ha ⁻¹) + PK	0,13 bA	0,09 bcA	0,11 bcA
L.caleiro (20,50 Mg ha ⁻¹) + PK	0,33 aA	0,18 aB	0,31 aA
L.cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	0,17 bA	0,05 cdB	0,07 cdeB
L.cromo (27,6 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	0,16 bA	0,07 bcdB	0,08 bcdB
L.cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK	0,06 cA	0,03 dA	0,04 deA
C.V. (%)		27,4	

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

Quadro 7. Teores de sódio disponível do solo. Média de três repetições

Tratamento	Amostragem (dia)		
	40	80	120
	mg kg ⁻¹		
Testemunha	25 eA	23 eA	27 eA
NPK + calcário	29 eA	24 eA	26 eA
L.caleiro (10,25 Mg ha ⁻¹) + PK	109 bA	96 bB	97 bB
L.caleiro (20,50 Mg ha ⁻¹) + PK	191 aA	149 aC	176 aB
L.cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	43 dA	33 dB	39 dA
L.cromo (27,6 Mg ha ⁻¹) + PK + calcário	50 cA	43 cB	49 cA
L.cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK	41 dA	37 dA	38 dA
C.V. (%)		5,1	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

No presente trabalho, os tratamentos que apresentaram doses crescentes de lodo do caleiro apresentaram valores da razão de adsorção de sódio (RAS) de 5,8 e 9,4, considerados altos para o adequado desenvolvimento das plantas. Segundo Bohn et al. (1985), solos de caráter sódico apresentam uma RAS superior a 15, podendo ocasionar decréscimo na permeabilidade e acentuar o problema de concentração de sais.

Cromo total

Os tratamentos NPK + calcário e lodo do caleiro apresentaram teores variáveis entre 2,4 e 14,5 mg kg⁻¹ de Cr (Quadro 8). Esses valores foram semelhantes estatisticamente aos observados na testemunha, indicando não haver restrição ao uso deste tipo de resíduo no solo quanto a problemas com Cr. Os teores mais elevados de Cr foram observados nos tratamentos com aplicação de lodo

com cromo. Na primeira amostragem, cerca de 40% do total de Cr adicionado (250 e 500 mg kg⁻¹ solo) foi recuperado na análise química. Esses valores (Quadro 2) não afetaram o desenvolvimento das plantas de milho até porque permaneceram abaixo do limite máximo permissível pela Fundação Estadual de Proteção ao Ambiente Natural-FEPAM que é de 500 mg kg⁻¹ (Rodrigues et al., 1993). Pombo (1995) observou, quando da aplicação de lodo de curture ao solo com pH entre 6,5 e 7,5, que mais de 77% do Cr adicionado foi imobilizado no solo, não sendo extraído com HNO₃ 4 mol L⁻¹. Nos tratamentos com aplicação de lodo com cromo, não foi observada migração do Cr das amostras de 0-10 cm para as de 10-20 cm, o que pode ser creditado à formação de precipitados do Cr na forma de hidróxidos, com a elevação do pH do solo.

Tal comportamento também foi observado por Marchiori Júnior et al. (1999) que, em aplicações

Quadro 8. Teores de cromo total na camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-30 cm) do solo cultivado com milho. Média de três repetições

Tratamento	Amostragem (dia)					
	40		80		120	
	0-20	20-30	0-20	20-30	0-20	20-30
	mg kg ⁻¹					
Testemunha	7,2 cA	-	3,2 cA	-	0,0 dA	-
NPK + calcário	8,7 cA	-	3,1 cA	-	2,4 dA	-
L. caleiro (10,25 Mg ha ⁻¹) + PK	8,7 cA	-	3,4 cA	-	2,6 dA	-
L. caleiro (20,50 Mg ha ⁻¹) + PK	14,5 cA	-	5,6 cAB	-	2,4 dB	-
L. cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK + Calcário	113,0 ⁽¹⁾ bA	60,7 b	65,1 bC	75,5 b	77,8 bB	89,0 ab
L. cromo (27,6 Mg ha ⁻¹) + PK + Calcário	204,9 aA	118,1 a	100,0 aC	121,3 a	131,0 aB	115,9 a
L. cromo (13,8 Mg ha ⁻¹) + PK	107,3 bA	50,2 b	65,9 bB	67,4 b	58,7 cB	82,2 b

C.V. (%) = 15,4

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha (profundidade 0-20 cm), não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%. ⁽¹⁾ Entre as diferentes profundidades apenas os tratamentos Lodo com cromo 13,8 Mg ha⁻¹ + PK + Calcário e sem Calcário diferiram significativamente.

crescentes de Cr ao solo até à dose de 2.700 mg kg⁻¹ de CrCl₃, constataram que o elemento tendeu a se concentrar na camada superficial. De acordo com Rai et al. (1989), em pH maior que 5,0, a precipitação como Cr(OH)₃ é o mecanismo mais provável de imobilização do Cr, podendo coprecipitar na presença de Fe, diminuindo ainda mais a sua solubilidade.

Não foi verificada a formação de Cr⁶⁺ em nenhum dos tratamentos com aplicação de lodo com cromo, o que descarta, nas condições do presente trabalho, o risco da oxidação do Cr³⁺ pela adição dos resíduos utilizados. A não-oxidação do Cr presente no lodo de curtume com cromo também foi verificada por Castilhos (1998) e Ferreira (1998), em solo cultivado com trigo e milho, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. Os resíduos de curtume aplicados ao solo promoveram aumento nos teores de Na e da razão de adsorção de sodio.

2. A aplicação do resíduo de curtume lodo do caleiro na dose de 20,50 Mg ha⁻¹ elevou o pH e os teores de N e Ca do solo, proporcionando rendimentos de milho equivalentes aos obtidos com adubação mineral mais calagem.

3. O resíduo lodo com cromo elevou os teores de N do solo e, quando aplicado juntamente com calcário, resultou em rendimento de milho semelhante ao do tratamento NPK + calcário.

4. O Cr³⁺ presente no lodo de curtume aplicado ao solo apresentou baixa mobilidade e não apresentou reações de oxidação.

LITERATURA CITADA

- AQUINO NETO V. Avaliação do aproveitamento agrícola de lodos de curtume. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 111p. (Tese de Mestrado)
- AQUINO NETO V. & CAMARGO O.A. Acúmulo de crômio em alfaca cultivada em dois latossolos tratados com CrCl₃ e resíduos de curtume. R. Bras. Ci. Solo, 24:225-235, 2000.
- BARTLETT, R.J. & JAMES, B.R. Behavior of chromium in soils: III. Oxidation. J. Environ. Qual., 8:31-35, 1979.
- BOHN, H.; McNEAL, B.L. & O'CONNOR, G.A. Salt-affected soils. In: BOHN, H.; McNEAL, B.L. & O'CONNOR, G.A. Soil Chemistry. New York, Wiley Interscience Publication, 1985. p.234-261.
- BRADY, N.C. & WEIL, R.R. Elements of the nature and properties of soils. 12.ed. New Jersey, Prentice-Hall, 2000. 559p.
- CASTILHOS, D.D. Alterações químicas e biológicas do solo resultantes da adição de resíduos de curtume e cromo hexavalente. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 194p. (Tese de Doutorado)
- CAVALLET, L.E. Descarte em solo de lodo oriundo do tratamento primário de água residuária de curtume. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 91p. (Tese de Mestrado)
- FERREIRA, A.S. Efeitos da adição de resíduos de curtume e carboníferos nas plantas e no solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 96p. (Tese de Mestrado)
- KRAY, C.H. Efeitos da aplicação e da reaplicação de resíduos carboníferos e de curtume no solo e nas plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 90p. (Tese de Mestrado)

- LOSI, M.E.; AMRHEIN, C. & FRANKENBERGER, W.T. Environmental biochemistry of chromium. *Rev. Environ. Toxicicol.*, 136:91-121, 1994.
- MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J.; BERTIPAGLIA, L.M.A. & MELO, G.M.P. Plantas de sorgo cultivadas sob aplicação de biossólido contaminado com doses crescentes de crômio. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Temuco, 1999. *Resumo Expandido*. Temuco, Universidad de la Frontera, 1999. CD ROM.
- MISSIO, E. Avaliação da disponibilidade de alguns metais pesados para as plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 120p. (Tese de Mestrado)
- POMBO, L.C.A. Application of a tannery residue em two brazilian Red-Yellow Podzolic Soils. *J. Am. Leather Chem. Assoc.*, 90:299-307, 1995.
- RAI, D.; EARY, L. & ZACHARA, E. Environmental chemistry of chromium. *Sci. Total Environ.*, 86:15-23, 1989.
- RODRIGUES, A.L.M.; ANGHINONI, M.C.M.; TEDESCO, M.J. & GIANELLO, C. Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO DA UNIÃO INTERNACIONAL DOS QUÍMICOS E TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22., Porto Alegre, 1993. *Boletim*. Porto Aelgre, FEPAM, 1993. 14p.
- RUTLAND, F.H. Environmental compatibility of chromium-containing tannery and other leather product wastes at land disposal sites. *J. Am. Leather Chem. Assoc.*, 86:364-373, 1991.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2.ed., Passo Fundo, Núcleo Regional Sul/Embrapa CNPT, 1995. 223p.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N. & KLAMT, E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. 1999. v.16. 1-5p. (Informativo EMATER)
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995. 215p. (Boletim Técnico, 5)
- TEIXEIRA, S.T.; SILVA, E.T.; MELO, J.; LEITE, A.S. & CHELLI, R.A. Produção de matéria seca e teores de N, P e S em sorgo granífero cultivado em Latossolo Vermelho Escuro acrescido de lodo de esgoto contaminado com doses crescentes de crômio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro. *Resumo Expandido*. Rio de Janeiro, 1997. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

