

REAÇÃO DO SOLO E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM SOLO TRATADO COM RESÍDUOS ALCALINOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE

L. Moro¹, M. A. Simonete², M. I. Warmling³, M. T. Warmling³, D. F. Roters³, C. F. A. Teixeira-Gandra⁴

RESUMO: O uso de resíduos alcalinos gerados nos processos de fabricação de celulose como corretivos de acidez pode aumentar da salinidade no solo e ser prejudicial ao desenvolvimento de plantas. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de resíduos alcalinos provenientes da Klabin de Correia Pinto/SC, na presença e ausência de calcário dolomítico, (para elevar o pH em água a 6,0), sobre o pH em água e condutividade elétrica (CE) em um Nitossolo Bruno. O experimento foi realizado em casa de vegetação do CAV/UDESC, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos: solo, solo+calcário; solo+lama; solo+dregs; solo+mix (1/2lama+1/2dregs); solo+1/2calcário+1/2dregs; solo+1/2calcário+1/2lama; solo+1/2calcário +1/2mix; foram aplicados em amostras de um kg de solo seco, umedecidas e incubadas por 90 dias. A aplicação dos resíduos isoladamente e em diferentes combinações promoveram elevações no pH e CE. Os incrementos no pH com resíduos foram semelhantes ao promovido com aplicação de calcário. A maior elevação da CE foi observada no tratamento solo+dregs (70,07 $\mu\text{S cm}^{-1}$), seguida de todos os demais tratamentos que receberam lama de cal e dregs nas diferentes combinações, tendo como média 47,01 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que os tratamentos solo e solo+calcário apresentaram menor CE, com média de 29,36 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Os maiores valores de CE observados nos tratamentos com dregs e lama de cal estão, provavelmente, relacionados à maior disponibilidade de Na na solução do solo, uma vez que os resíduos continham, respectivamente, 24,5 e 11,0 g kg^{-1} de Na. Contudo, os resíduos, nas quantidades aplicadas neste estudo, podem ser utilizados como alternativa na correção de acidez do solo.

PALAVRAS-CHAVE: lama de cal, dregs, calagem.

¹ Prof. Doutora Orientadora de Estágio, Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina/CEDUP Caetano Costa, BR 282, km 244, CEP 88570-000, Itararé, São José do Cerrito, SC. Fone (49) 999236400, e-mail: leticia_moro@hotmail.com.

² Doutora, Responsável Técnico da Blumeterra Comércio e Serviços Ltda, Otacílio Costa, SC.

³ Doutorando(a), UDESC/CAV, Lages, SC.

⁴ Prof. Doutora do Departamento de Engenharia de Água e Solo, UFPel, Pelotas, RS.

SOIL REACTION AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN SOIL TREATED WITH ALKALINE RESIDUES FROM THE CELLULOSE INDUSTRY

SUMMARY: The use of alkaline residues generated in cellulose manufacturing processes as acidity correctives may increase salinity in the soil and be detrimental to the development of plants. The objective of the study was to evaluate the effects of alkaline residues from the Klabin of Correia Pinto/SC, in the presence and absence of dolomitic limestone (to increase pH in water to 6.0), pH in water and conductivity (EC) in a Oxisol. The experiment was carried out in a greenhouse of the CAV/UEDESC, in a completely randomized design, with three replications. The treatments: soil, soil+limestone; soil+lime mud; soil+dregs; soil+mix ($\frac{1}{2}$ lime mud+ $\frac{1}{2}$ dregs); soil+ $\frac{1}{2}$ limestone+ $\frac{1}{2}$ dregs; soil+ $\frac{1}{2}$ limestone+ $\frac{1}{2}$ lime mud; soil+ $\frac{1}{2}$ limestone+ $\frac{1}{2}$ mix; Were applied to one kilogram samples of dry soil, moistened and incubated for 90 days. The application of the residues alone and in different combinations promoted elevations in pH and EC. Increases in pH with residues were similar to those promoted with limestone application. The highest EC elevation was observed in the treatment soil+dregs ($70.07 \mu\text{S cm}^{-1}$), followed by all other treatments that received lime mud and dregs in the different combinations, with a mean of $47.01 \mu\text{S cm}^{-1}$, While soil+limestone treatments presented lower EC, with a mean of $29.36 \mu\text{S cm}^{-1}$. The higher EC values observed in the treatments with dregs and lime sludge are probably related to higher availability of Na in the soil solution, since the residues contained, respectively, 24.5 and 11.0 g kg^{-1} of Na. However, the residues, in the amounts applied in this study, can be used as an alternative in the correction of soil acidity.

KEYWORDS: lime sludge, dregs, liming.

INTRODUÇÃO

A acidez dos solos promove o aparecimento de elementos tóxicos, como o alumínio (Al), além de reduzir o nível de nutrientes importantes para as plantas, levando à baixa produtividade. Deste modo, a busca por técnicas eficientes na correção do pH do solo, associada a um baixo custo, tem sido o grande desafio para os pesquisadores.

Entre os resíduos gerados pela indústria de papel e celulose localiza na região serrana catarinense estão os resíduos alcalinos lama de cal e o dregs, resultantes da etapa de caustificação nas fábricas. Esta etapa visa a recuperação do licor verde ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{Fe}(\text{OH})_2$). Da caustificação (adição CaO) é extraído um resíduo de coloração branca

formado predominantemente por CaCO_3 , o qual é denominado de lama de cal (Maeda et al., 2010). Já o dregs, que possui coloração cinza, é removido durante a clarificação do licor verde, por ocasião da remoção de impurezas (carbono, partículas de lama, hidróxidos e sulfetos de metais, além de outros elementos) (Pértille et al., 2012). Tais resíduos apresentam potencial para correção de acidez dos solos (Corrêa et al., 2007; Medeiros et al., 2009) e fornecimento de Ca para as plantas (Simonete et al., 2013), sendo a reciclagem com estas finalidades uma boa alternativa para sua destinação.

Entretanto, a adição em consideráveis doses e frequentes aplicações, a substituição do calcário por lama de cal e/ou dregs pode ser limitada pelo alto teor de sódio, que pode estar presente nesses materiais. O sódio no solo pode causar dispersão de argilas e colóides orgânicos, diminuindo a permeabilidade, a aeração e prejudicando o manejo do solo (Albuquerque et al.; 2011). Além disso, a concentração elevada de sais solúveis no solo pode afetar o desenvolvimento e a produção das plantas. Segundo Ferreira et al. (2007), os efeitos da salinidade sobre as plantas são a seca fisiológica, inibindo a absorção de outros nutrientes; além do efeito tóxico de certos íons em concentração elevada.

O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da aplicação dos resíduos alcalinos lama de cal e dregs provenientes da indústria de papel e celulose Klabin S.A. de Santa Catarina (SC), na presença e ausência de calcário dolomítico, sobre o pH, condutividade elétrica e teor de sódio em um Nitossolo Bruno.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), no período de junho a setembro de 2016. O solo utilizado foi um Nitossolo Bruno Distrófico típico, sob campo com araucária, localizado no Município de Paineira/SC, cujas coordenadas são: 27° 53' 41,8" S e 50° 07' 45,1" W.

Os tratamentos constituíram-se da adição ao solo de diferentes combinações de materiais corretivos de acidez de modo a atingir o pH em água 6,0, onde a dose recomendada segundo método SMP foi de 7,5 t ha⁻¹ (CQFSRS/SC, 2004). Os tratamentos foram: solo; solo + calcário; solo + lama de cal; solo + dregs; solo + mix (½lama de cal + ½dregs); solo + ½calcário + ½dregs; solo + ½calcário + ½lama de cal; solo + ½calcário + ½mix (½lama de cal + ½dregs). O experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As unidades experimentais

constituíram-se de sacos de polietileno com capacidade de 3 litros, contendo 1 kg de solo (base seca).

O solo coletado da camada de 0 - 20 cm de profundidade apresentou valores de: pH = 5,15; SMP = 5,30; P = 1,5 mg kg⁻¹; teores de Ca = 3,9 cmol_c kg⁻¹; Mg = 1,6 cmol_c kg⁻¹; K = 0,2 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,01 cmol_c kg⁻¹; S = 2,8 mg kg⁻¹; Al = 2,01 cmol_c kg⁻¹; H+Al = 8,3 cmol_c kg⁻¹; MO = 58,3 g kg⁻¹ e quantidades de areia, silte e argila de 150, 260 e 580 g kg⁻¹, respectivamente.

As principais análises de caracterização dos corretivos de acidez revelaram para o calcário dolomítico: CaO total = 29,5 %; MgO total = 20,5%, ER = 100 % e PN = 100 % e PRNT = 100 %. Para a lama de cal: CaO total = 55,2 %; MgO total = 0,6 %; PN = 98 %; ER = 98% e PRNT = 96%. O Dregs: CaO total 22,5 %; MgO total = 3,7 %; PN = 62 %; ER = 74 % e PRNT = 46 %. O mix: CaO total = 38,4 %; MgO total = 2,1 %; PN = 73 %; ER = 91 % e PRNT = 68 %. A caracterização química da lama de cal e do dregs é apresentada na Tabela 1.

Após a adição dos tratamentos, as amostras de solo foram umedecidas a 70 % da capacidade de retenção de água e acondicionadas em sacos, fechadas, para não perder umidade, com revolvimento e abertura semanal, para retirada do excesso de CO₂. Passados 90 dias de incubação, foram retiradas amostras de solo de cada unidade experimental e determinado: pH em água; condutividade elétrica (CE) teor de sódio (Na).

As análises químicas do solo, calcário, lama de cal, dregs e mix foram realizadas segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A análise de textura do solo foi realizada de acordo com metodologia descrita pela Embrapa (1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade. Para tanto, foi utilizado o programa estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição dos materiais corretivos de acidez de forma isolada e/ou em diferentes combinações no solo promoveram modificações significativas no pH e CE e teor de Na (Tabela 2), após 90 dias de incubação.

A aplicação de calcário, lama de cal e dregs, bem como as diferentes combinações desses materiais no solo elevaram o pH em água ao valor desejado (pH = 6,0), não havendo diferença significativa entre os tratamentos que receberam os materiais corretivos (Tabela 2). Trabalhos como os de Simonete et al. (2014) e Corrêa et al. (2007), com lama de cal, e de

Pértile et al. (2012) e Medeiros et al. (2013), com dregs, têm demonstrado o desempenho desses resíduos semelhante ao do calcário na correção de acidez do solo,

A eficiência dos resíduos alcalinos em corrigir a acidez, utilizados neste estudo, está relacionada às características dos mesmos, que além de apresentarem consideráveis valores de Poder de Neutralização, apresentaram alta Eficiência Relativa (98 %, 74 % e 91 %, respectivamente para lama de cal, dregs e mix), conferido pelo alto grau de finura dos resíduos. Este fato mostra o bom desempenho da lama de cal, dregs e mix, tendo o PRNT como referência para quantificar a dose a ser aplicada. Assim, considerando o PRNT da lama de cal, dregs e mix (96 %, 46 % e 68 % respectivamente) são necessários 102 kg, 217 kg e 147 kg dos respectivos resíduos para uma recomendação de 100 kg de calcário com PRNT 100 %.

Observou-se que a CE do solo foi modificada de modo significativo pelos tratamentos, sendo que a maior elevação da CE foi revelada no tratamento solo + dregs ($70,07 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguida dos demais tratamentos que receberam lama de cal e dregs nas diferentes combinações, tendo como média $47,01 \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que os tratamentos solo e solo + calcário apresentaram menor CE, com média de $29,36 \mu\text{S cm}^{-1}$. Os maiores valores de CE observados nos tratamentos com dregs e lama de cal estão, provavelmente, relacionados ao aumento do teor disponível de Na no solo (Tabela 2), uma vez que os resíduos continham, respectivamente, 24,5 e 11,0 g kg^{-1} de Na. Aumentos significativos na CE do solo também foram observados por Pértile et al. (2012) e Maciel et al. (2013) com a adição de resíduos alcalinos da indústria de celulose e papel.

O teor de Na no solo aumentou significativamente com a adição dos resíduos (Tabela 2). Isso era esperado, uma vez que os mesmos continham teores consideráveis de Na em suas composições (Tabela 1). Contudo, o tratamento solo + dregs foi o que apresentou maior incremento, o qual foi cerca de 228 mg kg^{-1} , consequência da elevada quantidade deste elemento presente no dregs ($24,50 \text{ g kg}^{-1}$). Corroborando, Almeida et al. (2007) observaram incremento de 111 mg kg^{-1} de Na no solo, quando adicionado a dose equivalente a 10 Mg ha^{-1} de dregs, contendo 10 g kg^{-1} de Na em sua composição. Em aplicação superficial no solo de lama de cal, com teor de Na de $12,0 \text{ g kg}^{-1}$, e dose de até $10,5 \text{ kg ha}^{-1}$, Medeiros et al. (2009) constataram aumento de $38,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Na no solo, porém, não atingindo o valor crítico de saturação da CTC por Na.

Entretanto, Medeiros et al. (2013), aplicando 100 Mg ha^{-1} de dregs (com 10 g kg^{-1} de Na em sua composição), observaram incremento de cerca de 303 g kg^{-1} de Na no solo. Constataram também que a saturação por Na na CTC atingiu 8 %, valor acima do limite

crítico a partir do qual pode ocorrer redução drástica na condutividade hidráulica saturada do solo (McIntyre, 1979).

Com base nas avaliações laboratoriais, Almeida et al. (2008), relatam que o dregs pode ser utilizado como corretivo da acidez para solos ácidos sem ocasionar efeitos negativos nas propriedades químicas e físicas. Uma vez que a aplicação de 10 g kg^{-1} de dregs (com 10 g kg^{-1} de Na) no solo promoveu uma grande perda de Na por lixiviação, cerca de 60 % quando incorporado, e 12 % quando aplicado na dose de sobre a superfície do solo.

Com os dados obtidos nesse trabalho pode-se afirmar que os resíduos, lama de cal e dregs provenientes da indústria de celulose e papel, em doses adequadas podem ser utilizados como corretivos de acidez do solo tornando-se uma alternativa viável às atividades agrônômica e florestal. Contudo, há que se considerar que tanto a adição de doses mais elevadas do que as utilizadas neste estudo, quanto o uso frequente destes resíduos contendo altos teores de Na, podem proporcionar alterações desfavoráveis no solo.

CONCLUSÕES

Os resíduos alcalinos da indústria de celulose e papel, nas quantidades e combinações aplicadas neste estudo, podem ser utilizados como alternativa na correção de acidez do solo. Contribuindo assim com reciclagem do material mineral nele contido, reduzindo o passivo ambiental gerado pela indústria.

O uso dos resíduos, notadamente o dregs, aumentam a Condutividade Elétrica e teor disponível de Na no solo. Contudo, em doses adequadas podem ser utilizados sem risco de contaminação a curto e médio prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; MEDEIROS, J.C.; COSTA, A.; RENGEL, M. Aplicação de resíduo alcalino na superfície de Cambissolos. *Bragantia*, V.70, n.4, p. 888-898, 2011.

ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; MACABÔ JÚNIOR, J.; ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na

lixiviação de cátions em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, V.32, n.4, p. 1775-1784, 2008.

ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; MARIN, H.; SCAPINI, E. Influência da adição de um resíduo industrial na velocidade de neutralização da acidez do solo, adsorção de sódio e disponibilidade de magnésio para o trigo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, V.6, n.2, p. 104-113, 2007

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC - CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 400p.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V.42, n.9, p. 1307-1317, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R.F.; et al. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 929-954.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I.A.; SILVA, H.D. Efeito de resíduos da indústria de celulose e papel em características químicas relativas à fertilidade de um Cambissolo Húmico distrófico típico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS – FERTBIO, 29, Guarapari. Anais... Guarapari: Cedagro. 2010, 2010. (CD-ROM)

MACIEL, T.M.S; ALVES, M.C.; SILVA, F.C. Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, V.17, n.5, p. 543–550, 2013.

McINTYRE, D.S. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Australian Journal of Soil Research*, V.17, n.1, p. 115-120, 1979.

MEDEIROS, J.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.BATISTELLA, F. GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, V.33, n.6, p. 1657-1665, 2009.

MEDEIROS, J.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.BATISTELLA, F.; ROSA, J.D.; PHILLIPPI, T. Resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez de um Cambissolo Húmico alumínico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, V.12, n.1, p. 78-87, 2013.

PÉRTILE, P.; ALBUQUERQUE, J.A.; GATIBONI, L.C.; COSTA, A.; WARMLING, M.I. Application of alkaline waste from pulp industry to acid soil with pine. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, V.36, n.3, p. 939-950, 2012

SILVA, de A.S. e; AZEVEDO, C.A.V. de. Principal Componets Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: *WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE*, 7, Reno. Anais... Reno: American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2009. 2009.

SIMONETE, M.A.; CHAVES, D.M.; TEIXEIRA, C.F.A.; MORO, L.; NEVES, C.U. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V.37, n.5, p. 1343-1351, 2013.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)

Tabela 1. Valores de umidade, pH, densidade, cinza, carbono orgânico e teores totais de elementos contidos na lama de cal e dregs, proveniente do processo de produção de papel da Klabin – respectivamente, Otacílio Costa e Correia Pinto, SC.

Características ¹	Lama de cal	Dregs
------------------------------	-------------	-------

Umidade (%) ²	31	55,8
pH (1:5) em água	12,1	9,9
Densidade (g m ⁻³)	935	851
Cinzas (%) ³	80	76,0
C orgânico (%) ⁴	0,23	18,5
N total (%) ⁵	< 0,01	0,27
P total (%) ⁶	0,15	0,91
K total (%) ⁶	0,01	0,14
S total (%) ⁶	0,11	1,4
Na total (mg kg ⁻¹) ⁶	5,90	24,5
Fe total (%) ⁷	0,10	0,78
Mn total (mg kg ⁻¹) ⁷	535	1560
Pb total (mg kg ⁻¹) ⁸	< 1,0	< 1,0
Zn total (mg kg ⁻¹) ⁸	28	40
Cu total (mg kg ⁻¹) ⁹	7,0	17
Cd total (mg kg ⁻¹) ¹⁰	< 0,2	5,0
Cr total (mg kg ⁻¹) ¹⁰	89	663
Ni total (mg kg ⁻¹) ¹⁰	7,0	52,7
B total (mg kg ⁻¹) ¹¹	< 1,0	< 0,01

¹Resultados expressos na amostra seca a 65 °C. ²Gravimetria; ³queima a 550 °C/limite de detecção 0,1 %; ⁴combustão úmida/Walkey Black/limite de detecção 0,1%; ⁵Kjeldahl; ⁶digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,01 %; ⁷digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 4 mg kg⁻¹; ⁸digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES /limite de detecção 2 mg kg⁻¹; ⁹digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,6 mg kg⁻¹; ¹⁰digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES/limite de detecção 0,2 mg kg⁻¹; ¹¹digestão seca/espec. abs. Mol./limite de detecção 0,01 mg kg⁻¹.

Tabela 2. Valores de pH, Condutividade elétrica (CE) e teor de sódio (Na) nas amostras de um Nitossolo Bruno Distrófico típico em função a adição de material corretivo de acidez do solo, após 90 dias da aplicação.

Tratamentos	pH	CE	Na
		μS cm ⁻¹	mg kg ⁻¹
Solo	5,16 b	23,76 c	17,00 c
Solo + calcário	6,30 a	34,97 c	28,33 c
Solo + lama de cal	6,19 a	47,37 b	46,00 c
Solo + dregs	6,10 a	70,07 a	245,67 a
Solo + mix ¹	6,30 a	37,73 c	32,33 c
Solo + ½ calcário + ½ lama de cal	6,23 a	45,27 b	82,33 b
Solo + ½ calcário + ½ dregs	6,20 a	49,90 b	92,00 b
Solo + ½ calcário + ½ mix	6,15 a	44,78 b	70,33 b
CV (%)	1,39	16,91	31,47

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

¹mix = ½lama de cal + ½dregs.