

Caracterização físico-química de solos da região dos Campos Gerais, Paraná, submetidos à aplicação de lama de cal



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 217

Caracterização físico- química de solos da região dos Campos Gerais, Paraná, submetidos à aplicação de lama de cal

Shizuo Maeda
Itamar Antonio Bognola
Guilherme de Castro Andrade

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.cnpf.embrapa.br

sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Antonio Aparecido

Carpanezi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Dalva Luiz

de Queiroz, Guilherme Schnell e Schuhli, Luís Cláudio Maranhão

Froufe, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Foto da capa: Shizuo Maeda

1ª edição

Versão eletrônica (2011)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Maeda, Shizuo.

Caracterização físico-química de solos da região dos Campos Gerais, Paraná, submetidos à aplicação de lama de cal [recurso eletrônico] / Shizuo Maeda; Itamar Antonio Bognola; Guilherme de Castro Andrade. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2011.

(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 217)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

<<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc217.pdf>>

Título da página da web (acesso em 22 ago. 2011).

1. Calagem. 2. Propriedade físico-química. 3. Análise do solo. 4. Solo. I. Bognola, Itamar Antonio. II. Andrade, Guilherme de Castro. III. Título. IV. Série.

CDD 631.41(21. ed.)

© Embrapa 2011

Autores

Shizuo Maeda

Engenheiro-agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
maeda@cnpf.embrapa.br

Itamar Antonio Bognola

Engenheiro-agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
iabog@cnpf.embrapa.br

Guilherme de Castro Andrade

Engenheiro Florestal, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
andrade@cnpf.embrapa.br

Apresentação

A disposição adequada de resíduos industriais é uma necessidade estabelecida em legislação específica. Entre as alternativas de disposição, destaca-se a utilização como insumo agroflorestal. A utilização desses resíduos para essa finalidade depende de avaliação prévia de seus efeitos no ambiente e nas plantas. Relata-se nesse trabalho os resultados da avaliação da lama de cal, resíduo gerado no processo de recuperação do licor verde, utilizado na digestão da madeira para separação da fibra celulósica, como corretivo da acidez do solo, como fonte de cálcio e os efeitos sobre os teores e a saturação de sódio em três solos representativos da região dos Campos Gerais do Paraná.

Ivar Wendling

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Caracterização química da lama de cal	10
Avaliação dos efeitos da lama de cal em características físico- químicas do solo	10
Resultados e discussão	11
Teor de nutrientes e capacidade de troca de cátions (CTC).....	11
pH do solo	15
Saturação por bases (V%).....	20
Toxidez de alumínio.....	20
Saturação por sódio (Na ⁺)	21
Conclusões	27
Agradecimentos	27
Referências	27

Caracterização físico-química de solos da região dos Campos Gerais, Paraná, submetidos à aplicação de lama de cal

Shizuo Maeda

Itamar Antonio Bognola

Guilherme de Castro Andrade

Introdução

Ao longo do tempo, a indústria brasileira de extração de celulose vem crescendo e, em 2008, ocupava a quarta posição mundial com aproximadamente 13 milhões de toneladas de celulose extraída e o 11º lugar entre os principais fabricantes de papel do mundo, com mais de nove milhões de toneladas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2009).

Cerca de 80% dos processos químicos utilizados na extração de celulose são executados pelo processo Kraft, também conhecido como processo sulfato, que tem como uma de suas vantagens o ciclo de recuperação relativamente fácil dos componentes do licor de cozimento ou licor verde. Nesse processo, a solução utilizada para o cozimento dos cavacos de madeira é composta principalmente por hidróxido e sulfeto de sódio.

O processo Kraft caracteriza-se pela extração de pasta celulósica de qualidade, avaliada pela resistência físico-mecânica, pelo alto grau de “alvura” alcançada na polpa branqueada, o eficiente sistema de recuperação dos produtos químicos e a redução do tempo de deslignificação em relação a outros processos. Por

outro lado, a geração de resíduos é uma das consequências desses processos industriais e, na recuperação do licor de cozimento, um dos resíduos gerados é a lama de cal, a qual, segundo Albuquerque et al. (2002), é um resíduo de coloração branca formado predominantemente por carbonato de cálcio resultante da caustificação do licor negro pela adição de óxido de cálcio no processo de recuperação do licor verde.

A presença de nutrientes, principalmente o elemento cálcio, na composição desse resíduo permite o uso do mesmo como fertilizante, além de ser aproveitado também como corretivo de acidez do solo. Adicionalmente, o aproveitamento desse resíduo como insumo florestal minimiza os impactos econômicos e ambientais da sua disposição final (TRIGUEIRO, 2006).

Esse estudo avaliou o efeito de doses da lama de cal residual do processo kraft na extração de pasta celulósica em propriedades físico-químicas de solos e avaliou problemas relacionados aos efeitos do sódio nestes solos.

O material avaliado foi coletado em depósito junto à fábrica, localizada no Município de Piraí do Sul, PR.

Caracterização química da lama de cal

Amostra da lama de cal foi analisada quanto aos teores de óxido de cálcio (Ca), óxido de magnésio (Mg), sódio (Na) e poder de neutralização (PN – equivalente em CaCO_3). O resíduo analisado apresentou os seguintes resultados (mg kg^{-1}): Cálcio = 228004; Magnésio = 2608 e Sódio = 8231. O PN foi de 97,76%.

Avaliação dos efeitos da lama de cal em características físico-químicas do solo

Amostras de um Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa – s1, com baixo teor de carbono orgânico; de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico – s2, com elevados

teores de carbono orgânico e de um Organossolo Háplico Sáprico térreo – s3, foram coletadas na região dos Campos Gerais, Paraná. Após caracterização físico-química, sub-amostras de 1.000 g deste solo foram acondicionadas em sacos de polietileno preto e incubadas com alíquotas de lama de cal equivalentes às doses estudadas. Após a mistura solo-lama de cal ser umedecida com água destilada e deionizada, em volume suficiente para atingir a capacidade de campo, todo material experimental foi colocado em local com ausência parcial de luz.

As doses da lama de cal estudadas foram equivalentes, em base seca, a 0, 2, 4, 8, 16 e 32 mg ha⁻¹. Amostras dos solos foram coletadas e preparadas para análise química, 32 dias após o início da incubação, sendo determinados o pH em CaCl₂, teores de Ca, Mg, Al, K, Na, P e a acidez potencial, conforme Claessen (1997). Com base nos dados analíticos foram calculadas a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), a soma de bases (s), a saturação por bases (V%) e a saturação de sódio na CTC.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado e quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística para avaliação dos efeitos das doses em cada solo isoladamente.

Resultados e discussão

Teor de nutrientes e capacidade de troca de cátions (CTC)

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise química inicial dos três solos utilizados no estudo. Estes dados permitem fazer as seguintes inferências: os solos s1 e s2 apresentam, para a maioria das culturas anuais e ou perenes, teores extremamente baixos a baixos de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, acidez excessiva e toxidez de Al³⁺. Por outro lado, o solo s3 apresenta melhor fertilidade com teores de nutrientes adequados para a maioria das culturas comerciais.

Tabela 1. Resultados de análises químicas dos três solos estudados* na condição natural, sem aplicação de lama de cal.

Solo*	pH	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺ + Al ⁺³	Na ⁺	CTC**	P	V***	CO****
	CaCl ₂				cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	g kg ⁻¹
s1	4,42	0,17	0,51	0,82	1,88	5,78	0,003	7,12	0,63	19	4,33
s2	4,07	0,04	0,08	0,00	2,94	11,69	0,021	11,79	1,69	1	17,64
s3	4,72	0,38	3,17	1,55	1,53	12,83	0,023	17,56	11,87	27	81,85

* Solo s1 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa; solo s2 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico; e solo s3 - Organossolo Háptico Sápico térreo; ** capacidade de troca de cátions a pH 7,0; saturação por bases na CTC a pH 7,0 e *** carbono orgânico.

Os valores da CTC a pH 7,0 são medianos para os solos s2 e s3 e baixo para o solo s1. Como resultado, o solo s1, em condições naturais, apresenta baixa capacidade de reter cátions, mesmo sendo de textura franco-argilo-siltosa, o que certamente oferece sérias limitações ao crescimento das culturas. Indica também que as argilas desse solo são de baixa atividade, formadas provavelmente por caulinita e/ou sesquióxidos de ferro e alumínio. A baixa atividade das argilas desse solo pode ser confirmada pela observação do valor da CTC a pH 7,0, que atingiu apenas 7,12 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Pode-se inferir que o potencial de perdas de nutrientes por lixiviação é marcante sob condições naturais (baixa CTC efetiva), para os solos s1 e s2. Esse potencial de perdas pode ser sensivelmente reduzido por calagem adequada desses solos e a consequente liberação de cargas dependentes de pH. Considerando que a capacidade de troca de cátions (CTC) reflete o poder de retenção de cátions que o solo tem, conseqüentemente, os fatores que alteram o poder de retenção de cátions também alteram a CTC. A CTC do solo, além de ser influenciada pela espécie e quantidade de argila, pelo teor de matéria orgânica e pela superfície específica, também é fortemente alterada pelo pH do meio. Este efeito é decorrente, principalmente, da dissociação dos radicais orgânicos e/ou sesquióxidos de ferro e alumínio, além da liberação de cargas negativas da matéria orgânica ocupadas por alumínio.

A influência do pH do meio na CTC será tanto maior quanto maior for a presença de espécies de minerais de argila com dominância de cargas dependentes de pH e/ou matéria orgânica que praticamente só apresenta essa característica. A importância desses fatores na CTC justifica um detalhamento maior dos mesmos com o objetivo de melhor entender a fertilidade dos solos e, conseqüentemente, propor soluções mais adequadas aos problemas nutricionais das plantas.

Ocorreu uma maior CTC para o solo orgânico - s3, em comparação com os outros dois solos (franco-argilo-siltoso – s1 e arenoso – s2) (Tabela 1). Esse resultado era esperado, uma vez que, comparados os componentes minerais do solo, um dos fatores que contribuem para a maior CTC de um solo é o seu teor de matéria orgânica, uma vez que a matéria orgânica apresenta maior superfície específica.

Por outro lado, quanto maior o teor de argila de um solo maior será sua superfície específica, quando comparado com um solo arenoso, considerando o mesmo tipo de argila predominante (alta ou baixa atividade). No entanto, não se verifica isso na Tabela 1, quanto à CTC. Pode-se notar que o solo arenoso s2 apresenta maior CTC que o solo s1 com textura franco-argilo-siltosa. Mas, pode-se observar também que o solo s2 apresenta maior teor de carbono orgânico (três vezes maior em volume) que o solo s1 e isso pode ter contribuído para o aumento da CTC do solo s2.

Quanto maior a CTC do solo, maior a quantidade de cátions que este solo pode reter. Portanto, a CTC é uma característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo. Outra maneira de se definir CTC é que este parâmetro indica a quantidade de íons positivos (cátions) que o solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar por quantidades estequiométricas de outros cátions, e é função da intensidade de cargas negativas que se manifesta nos colóides.

Essa característica de reter cátions que os colóides apresentam explica porque o nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) lixivia mais facilmente no solo, do que na forma de amônio (NH_4^+). O nitrato apresenta carga negativa fraca. Assim sendo, é pouco retido no solo, permanecendo como íon livre na solução do solo, passível de ser lixiviado em certos solos e sob certas condições pluviométricas. Da mesma forma, cátions com apenas uma carga positiva, como por exemplo o Na^+ e o K^+ , são mais facilmente lixiviáveis do que os cátions bi ou trivalentes.

De acordo com Lopes e Guilherme (2004), algumas características do fenômeno de troca (capacidade de troca catiônica) merecem comentários, face às suas implicações de ordem prática: **a) o fenômeno de troca é reversível:** isso significa que embora haja um ponto de equilíbrio na reação, um cátion desloca outro no solo e, assim, sucessivamente; **b) o fenômeno de troca é estequiométrico:** os cátions se substituem em quantidades estequiométricas nos colóides do solo (por exemplo, 200 mg de Ca^{2+} por 10 mg de H^+ , ou 391,02 mg de K^+ , ou 121,56 mg de Mg^{2+} , ou 89,94 mg de Al^{3+} , ou 229,90 mg de Na^+). Uma solução com 10 cmol_c de Ca^{2+} e que interage com um solo, provocando uma troca, poderá conter, no final, apenas 8 cmol_c de Ca^{2+} , mas terá que ter mais 2 cmol_c de outros elementos, que estavam adsorvidos ao mesmo; **c) o fenômeno de troca é instantâneo:** tão logo o novo cátion seja adicionado ao solo, a sua troca com cátions já adsorvidos ocorre instantaneamente de forma estequiométrica.

pH do solo

Conforme esperado, pode se verificar nas Tabelas 2 e 3 que a aplicação de doses de lama de cal promoveu alterações em características químicas dos solos estudados. Em virtude de seu poder neutralizante da acidez do solo, ocorreu aumento, de forma significativa, do pH CaCl_2 até a maior dose nos três solos estudados. Em decorrência do aumento do pH CaCl_2 , houve redução do teor de alumínio trocável (Al^{3+}) até a maior dose nos três solos estudados. Também, os teores de cálcio (Ca^{+2}) e de sódio (Na^+) trocáveis foram aumentados em decorrência da presença de cálcio e sódio na lama de cal.

De forma geral, percebe-se que o solo s3 teve maior resistência à mudança nos valores de pH CaCl_2 quando comparado com os demais solos. Pode-se observar novamente que isso é devido aos maiores teores de carbono orgânico, pois apresentam, em geral, um balanço de cargas negativas maior, desenvolvido durante o

processo de sua formação, o que reflete em maior capacidade de resistir às mudanças no pH resultante do maior tamponamento em função da maior acidez potencial. Isto significa que o solo s3 pode atrair e reter íons com cargas positivas em maior proporção que os solos s1 e s2. A presença da matéria orgânica é tão importante que mesmo o solo s2, sendo arenoso, por possuir maior teor de carbono orgânico que o solo s1, apresentou, ainda que seja uma pequena diferença a seu favor, maior resistência à mudança de valores de pH em CaCl_2 .

Em média, os valores de pH em CaCl_2 são inferiores ao pH em H_2O em 0,6 unidades. Considerando que para a maioria das culturas o pH em CaCl_2 são inadequados a partir de valores em torno de 6,1, pois segundo Rajj (1981), o pH H_2O ideal para a maioria culturas comerciais gira em torno de 6,0 a 6,7, no máximo, verifica-se que, para os solos s1 e s2 os valores de pH em CaCl_2 seriam inadequados a partir das doses 8 t ha^{-1} e 16 t ha^{-1} , enquanto que para o solo s3 valores excessivos de pH em CaCl_2 foram atingidos na maior dose estudada.

Segundo Fageria (1998), o pH do solo é uma das propriedades químicas mais importantes na determinação da disponibilidade de nutrientes para as plantas. A disponibilidade de fósforo é altamente dependente do pH. O principal mecanismo de fixação de fósforo sob baixo pH é a precipitação de fósforo com Al e Fe; em pH alto, a precipitação ocorre principalmente pela formação de fosfatos cálcicos insolúveis. Em geral, a disponibilidade de Mn, Fe, Cu e Zn aumenta com o aumento da acidez do solo enquanto a disponibilidade de Mo e B diminui (BOHN et al., 1979).

O sistema solo-planta é dinâmico, sendo difícil definir o pH ótimo para várias culturas anuais, mas a maioria das culturas pode produzir bem em solo com pH em H_2O em torno de 6,0 (FAGERIA et al., 1990).

Deve-se salientar que nem os princípios fundamentais da acidez do solo, nem aqueles ligados à CTC podem ou devem ser considerados em termos isolados, sendo óbvia a necessidade de se avaliar as inter-relações entre os mesmos, ou seja, não são só os valores de pH em CaCl_2 que deverão definir qual a dose máxima de lama de cal a ser aplicada.

Tabela 2. Efeito * de doses de lama de cal no pH, CaCl_2 e teores de Ca, Mg e Al nos três solos estudados.

Dose t ha ⁻¹	pH CaCl_2			Ca^{+2}			Mg^{+2}			Al^{+3}		
	s1**	s2**	s3**	s1**	s2**	s3**	s1**	s2**	s3**	s1**	s2**	s3**
	cmol _c dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		
0	4,42 e	4,07 f	4,72 d	0,51 e	0,08 e	3,17 f	0,82 a	0,00 b	1,55 ab	1,88 a	2,94 a	1,53 a
2	4,71 d	4,59 e	4,79 cd	2,35 d	2,54 d	4,72 e	0,83 a	0,07 ab	1,63 ab	0,41 b	1,21 b	1,19 b
4	5,82 c	5,06 d	4,90 cd	4,45 c	4,65 c	6,24 d	0,84 a	0,12 a	1,66 a	0,10 d	0,30 c	0,89 b
8	6,97 b	5,77 c	5,13 bc	7,26 b	8,32 b	8,78 c	0,37 b	0,03 ab	1,61 ab	0,09 d	0,13 c	0,40 c
16	7,69 a	6,91 b	5,48 b	8,08 a	11,33 a	12,53 b	0,38 b	0,00 b	1,50 b	0,02 d	0,08 c	0,14 c
32	7,79 a	7,43 a	6,34 a	8,12 a	11,71 a	18,05 a	0,47 b	0,00 b	1,17 c	0,03 d	0,08 c	0,08 c
CV (%)	1,71	1,77	3,16	6,13	5,42	5,84	9,52	117,4	4,12	11,85	13,21	22,60

* Valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (5%); ** s1 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa; s2 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico e s3 - Organossolo Háplico Sápico fértil.

Tabela 3. Efeito * de doses de lama de cal nos teores de Na⁺ e P e nas saturações de Na⁺ e bases na capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

Doses t ha ⁻¹	Na ⁺			Saturação por Na			V***			P		
	s1**	s2**	s3**	s1**	s2**	s3**	s1**	s2**	s3**	s1**	s2**	s3**
	cmol _c dm ⁻³			%			%			mg dm ⁻³		
0	0,00 f	0,00 d	0,02 d	0,18 d	0,04 f	0,13 d	1,24 f	20,63 e	28,51 f	0,63	1,69 d	11,87 a
2	0,05 e	0,07 cd	0,06 cd	0,55 cd	0,67 e	0,29 d	22,91 e	47,76 d	34,48 e	0,61	1,99 cd	11,89 a
4	0,09 d	0,11 cd	0,12 cd	0,91 cd	1,15 d	0,57 cd	40,51 d	67,82 c	40,76 d	0,61	2,27 cd	11,05 a
8	0,17 c	0,19 bc	0,21 bc	1,43 bc	1,73 c	0,99 bc	64,87 c	82,00 b	52,24 c	0,82	2,63 bc	10,48 a
16	0,33 b	0,33 b	0,35 b	2,36 b	3,11 b	1,56 b	82,74 b	85,53 a	66,20 b	0,68	3,51 ab	9,25 ab
32	0,54 a	0,76 a	0,73 a	5,27 a	5,05 a	2,95 a	87,30 a	86,18 a	82,56 a	1,14	4,25 a	4,28 b
CV (%)	4,17	29,52	31,16	25,31	4,69	27,20	2,11	1,49	3,89	35,08	14,10	22,58

* Valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (5%); ** s1 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa; s2 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico e s3 - Organossolo Háptico Sápico fértil e *** saturação por bases na CTC a pH 7,0.

Saturação por bases (V%)

Outro ponto relevante é a verificação do parâmetro saturação por bases na CTC a pH 7,0 (V%) que, com todas as implicações benéficas do seu conhecimento e utilização, informa-nos o percentual dos pontos de troca do complexo coloidal do solo ocupado por bases, ou seja, que percentual das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, está ocupado pela soma das bases (SB): Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} e, às vezes, Na^{+} , em comparação com aqueles ocupados por H^{+} + Al^{3+} .

Este é um parâmetro utilizado para separar solos considerados “eutróficos” ($V \geq 50\%$) de solos “distróficos” ($V < 50\%$). Este parâmetro também é indispensável para o cálculo da calagem pelo método da elevação da saturação por bases, em uso em vários estados: $V\% = (100 \times \text{SB}/\text{CTC})$.

Uma vez que para a maioria das culturas o V% requerido seria em torno de 70% (variável entre as culturas, sendo mais elevada para culturas menos tolerantes à acidez), verifica-se na Tabela 3, que o solo s3 atingiria esta saturação por bases somente com a última dose avaliada, ou seja, 32 t ha⁻¹ para incorporação até 20 cm de profundidade, enquanto o solo s1 atingiria V% adequado na dose de 16 t ha⁻¹ e o solo s2 com 8 t ha⁻¹. Por esse parâmetro, os solos s1 e s2 trocaram suas doses máximas permitidas, comparando-se com o critério do pH em CaCl_2 (acidez ativa).

Toxidez de alumínio

O alumínio trocável (Al^{3+}) é, normalmente, o cátion mais abundante nos solos ácidos. Ele afeta negativamente a disponibilidade de Mo e B (BOHN et al., 1979). Se o pH não estiver na faixa adequada, a deficiência ou toxidez nutricional poderá ocorrer e a produção das culturas ser prejudicada e, conseqüentemente, a eficiência nutricional diminuir.

O principal fator que controla a concentração do Al na solução do solo é a acidez da solução do solo. A solubilidade do Al é baixa ou nula, com pH na faixa de 5,5 a 7,5, onde ocorre precipitação e fica relativamente insolúvel como $\text{Al}(\text{OH})_3$ (McLEAN, 1976). A solubilidade do Al^{3+} aumenta em pH abaixo de 5,5. A toxidez de alumínio é particularmente severa em pH H_2O abaixo de 5,0, mas pode ocorrer em solos com pH H_2O até 5,5.

Para determinada planta, o pH crítico das concentrações tóxicas de Al^{3+} depende de vários fatores do solo, como a natureza dos minerais de argila predominantes, teor de matéria orgânica e concentrações de outros cátions, ânions e sais totais. O excesso de Al^{3+} inibe a formação normal da raiz, interfere nas reações enzimáticas e na absorção de nutrientes (FOY, 1974) com reflexos negativos na produtividade.

Nesse contexto, pelos dados da Tabela 2, verifica-se que o pH em CaCl_2 correspondente ao pH em H_2O no valor de 5,5 é de 4,9 a 5,0 (pois o mesmo tem em média 0,6 unidades de valor menor que o pH em H_2O) já é atendido na dose de 4 t ha^{-1} para os três solos estudados. Considerando-se apenas o critério da toxidez por Al^{3+} , esta dose seria suficiente para eliminar toda a toxidez do Al^{3+} .

Saturação por sódio (Na^+)

A porcentagem de saturação por sódio (PSS) na CTC a pH 7,0 é utilizada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006), para identificar três situações de solos com expressivos teores de Na^+ no complexo sortivo: a) os solos com caráter solódico (PSS entre 6 e 15%), b) solos com caráter sódico (PSS > 15%) e solos com horizonte plânico e caráter sódico (anteriormente denominado de horizonte nátrico).

Em solos com caráter sódico e com menor expressão, os com caráter solódico, podem ocorrer importantes distúrbios

nutricionais às plantas sensíveis à sua presença, pois o sódio interfere no crescimento das plantas por inibir a absorção do cálcio e magnésio. Para a maioria das culturas, o cálcio começa a se tornar indisponível quando a saturação por sódio na CTC a pH 7,0 se aproxima de 50% (HAYWARD; WADLEIGH, 1949).

A nomenclatura dos solos constantes das legendas dos mapas pedológicos em todo o Estado do Paraná (BHERING; SANTOS, 2008) dá idéia da pequena gravidade da sua limitação, uma vez que não há classes destes solos nesta região com excesso de sódio no complexo de troca.

Assim, as limitações decorrentes da presença do Na^+ em excesso ficam por conta da aplicação de resíduos com excessiva quantidade deste elemento em sua composição, o que não é confirmado pelas diversas análises realizadas na lama de cal estudada nesse trabalho.

Pela análise dos resultados obtidos (Tabela 3) nos três solos incubados com lama de cal por 32 dias consecutivos e mantidos na umidade de campo não se verificou nenhuma condição de saturação por Na^+ (PSS) em excesso, ou seja, acima de 6%. Nas Figuras 1 e 2 são mostradas a relação entre o pH em CaCl_2 e a saturação por bases (V%), respectivamente, versus a saturação de sódio, em ambas as situações, demonstrando mais uma vez que não ultrapassou o valor máximo de 6% no complexo de troca.

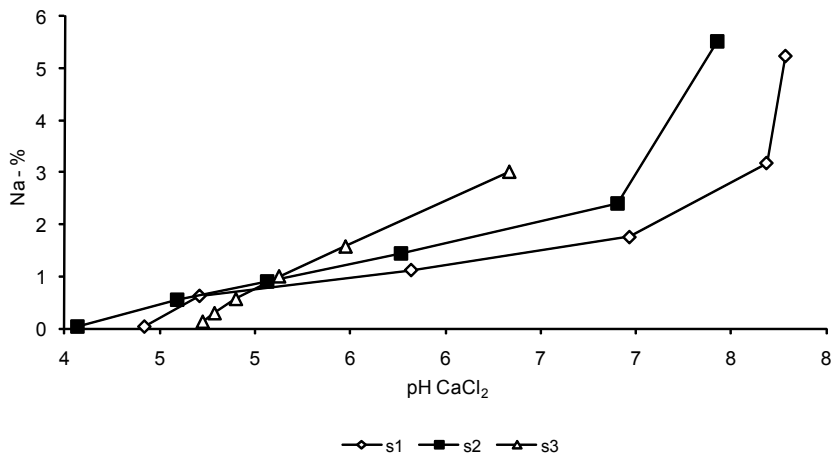


Figura 1. Relação entre pH CaCl₂ e saturação de sódio da capacidade de troca de cátions a pH 7,0 nos solos 1 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa; 2 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico e 3 - Organossolo Háplico Sáprico térreo.

Na Figura 3, são mostradas as relações entre doses de lama de cal e saturações de Na (Na%) e pH CaCl₂, e na Figura 4, são apresentadas as relações entre doses de lama de cal e saturações de Na (Na%) e bases na CTC de amostras de Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa – s1; Neossolo Quartzarênico Órtico típico – s2 e Organossolo Háplico Sáprico térreo – s3, confirmando que o sódio presente na lama de cal avaliada não deverá causar maiores problemas para o cultivo de culturas agrícolas.

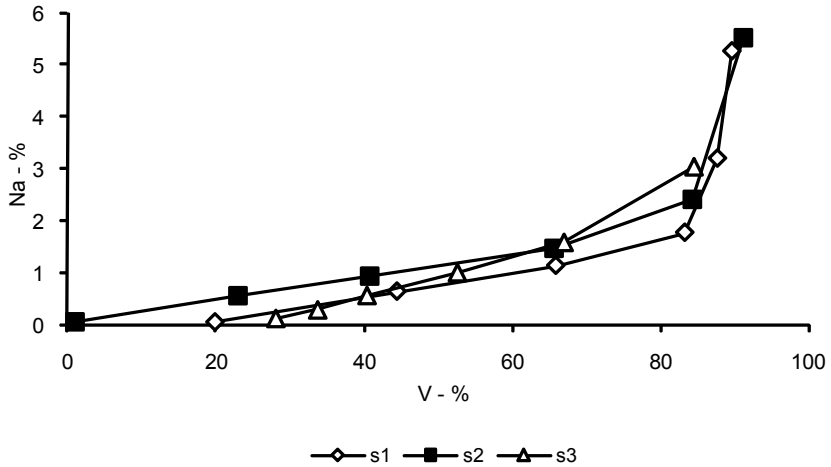


Figura 2. Relação entre saturação por bases e saturação de sódio da capacidade de troca de cátions a pH 7,0 nos solos 1 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa; 2 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico e 3 - Organossolo Háplico Sáprico térrico.

Considerando, por hipótese, que o pH em CaCl_2 adequado para uma cultura seja de 6,0, conforme comentado anteriormente, a dose adequada de lama de cal para o Cambissolo estudado seria de $5,3 \text{ t ha}^{-1}$; para o Neossolo seria de $9,1 \text{ t ha}^{-1}$ e para o Organossolo seria de 26 t ha^{-1} , sendo as doses recomendadas para aplicação na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Com a aplicação dessas doses, estima-se que as saturações de sódio seriam de 1,20%; 1,61% e 2,50%, respectivamente, para o Cambissolo, Neossolo e Organossolo.

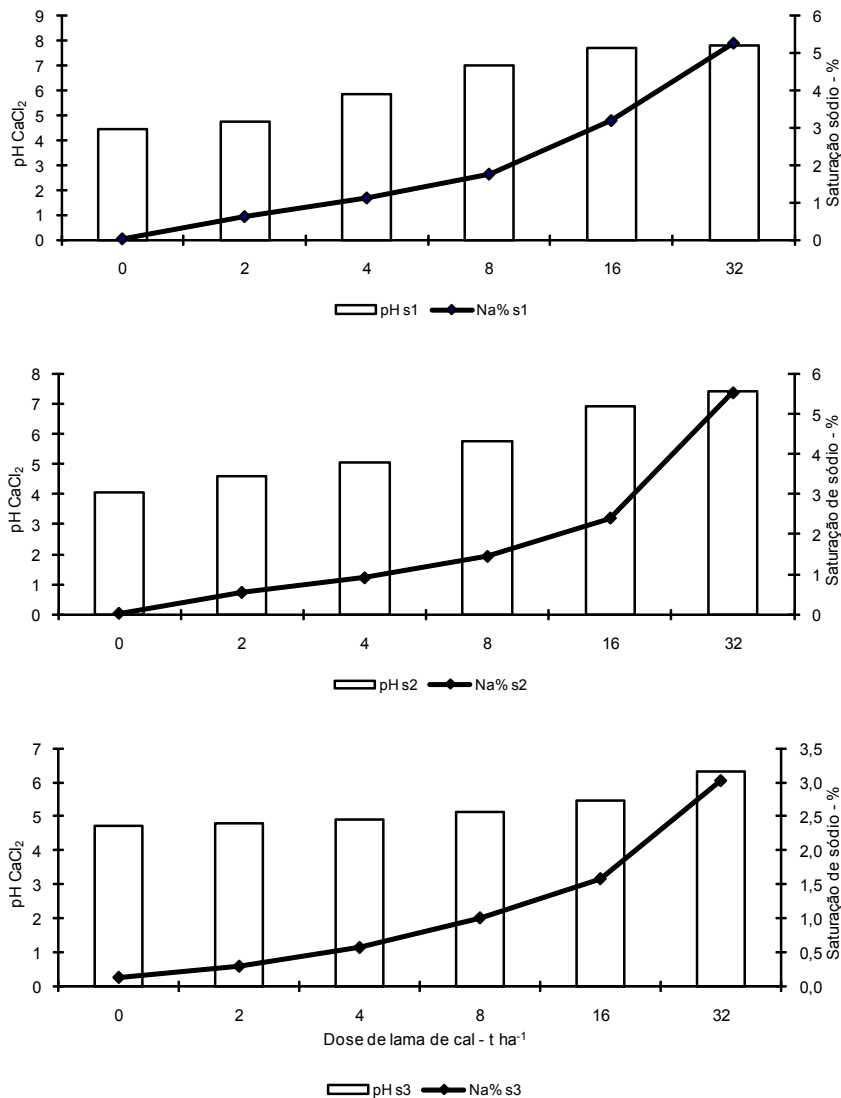


Figura 3. Relações entre doses de lama de cal e saturações de sódio (Na%) e pH CaCl₂ de amostras de Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa – s1; Neossolo Quartzarênico Órtico típico – s2 e Organossolo Háplico Sáprico térrico – s3.

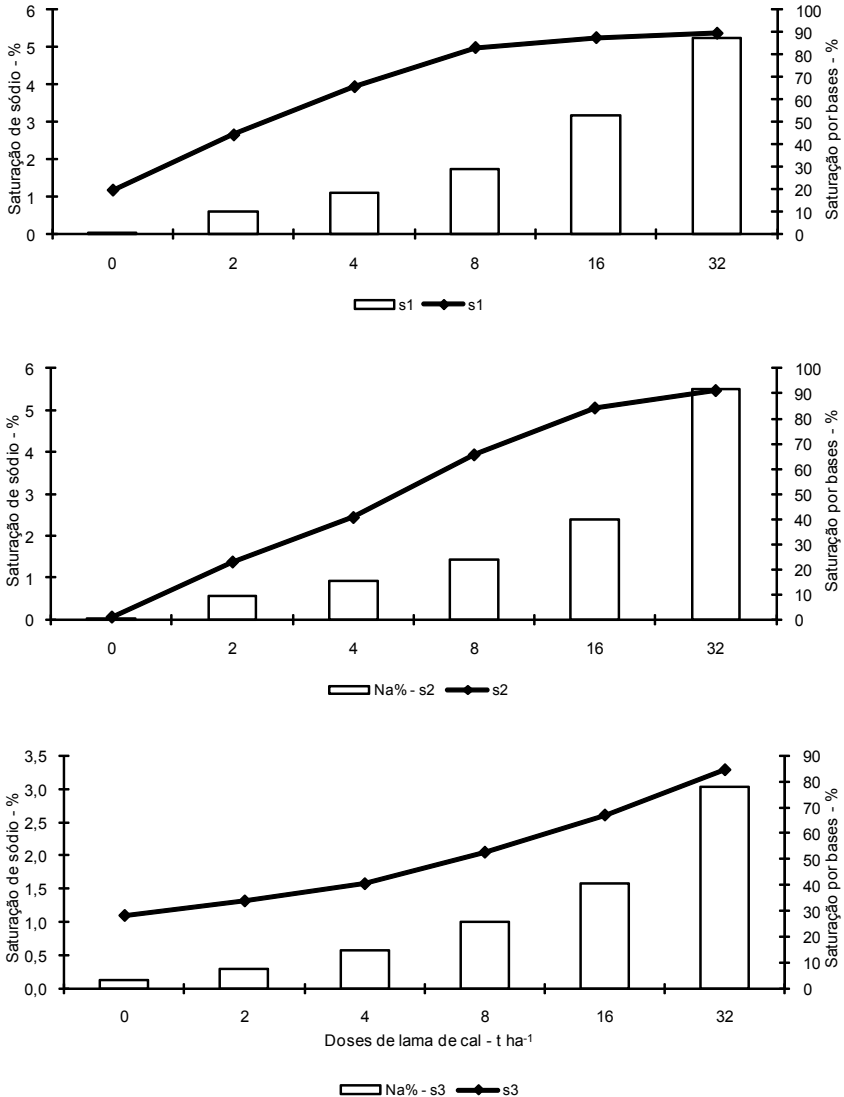


Figura 4. Relações entre doses de lama de cal e saturações de sódio (Na%) e de bases na CTC de amostras de Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura franco-argilo-siltosa – s1; Neossolo Quartzarênico Órtico típico – s2 e Organossolo Háplico Sáprico térrico – s3.

Conclusões

Não há efeito prejudicial da lama de cal residual do processo kraft de extração de pasta celulósica nas propriedades químicas de solos nas doses compatíveis com o cultivo de espécies florestais de interesse comercial estabelecidas nesse trabalho.

Não foram identificados problemas relacionados aos efeitos do sódio nestes solos.

Agradecimentos

À Iguaçu Celulose, Papel S/A.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T, D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1065-1073, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Informe anual**. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/br/anual/perfil2009.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2011.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (Ed.). **Mapa de Solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Colombo: Embrapa Florestas; Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74 p.

BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York: John Wiley, 1979. 329 p.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; EDWARD, D. G. Soil-plant nutrient relationships at low pH stress. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. New York: Academic Press, 1990. p. 475-507.

FOY, C. D. Effects of aluminium on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.601-642.

HAYWARD, H. E.; WADLEIGH, C. H. Plant growth on saline and alkali soils. **Advances in Agronomy**, v. 1, p. 1-38, 1949.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004, 64 p.

McLEAN, E. O. Chemistry of soil aluminum. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 7, p. 619-636, 1976.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, SP: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

SANTOS, H. N. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeitos de dregs e grits nos atributos de um neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Embrapa

Florestas

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 9466