

Alteração em características químicas de um NEOSSOLO LITÓLICO húmico cultivado com *Pinus taeda* L., promovidas pela aplicação de lodo celulósico

SHIZUO MAEDA¹, HELTON DAMIN DA SILVA² & ANTONIO F. J. BELLOTE²

RESUMO - Com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de lodo celulósico em características químicas do solo e em efluentes resultantes dessa aplicação, instalou-se, em casa de vegetação um experimento utilizando um NEOSSOLO LITÓLICO húmico coletado nas camadas 0 a 10 e 10 a 30 cm, cultivado com *Pinus taeda* L. em condições de vasos confeccionados com acetato transparente fixado em base de concreto. Os vasos tinham 15 cm de diâmetro e 35 cm de altura e no seu fundo foi colocado um equipamento (equipo) para a coleta do efluente. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos de doses do lodo, equivalentes a 0; 10; 20; 40 e 80 Mg ha⁻¹. Após secagem e moagem, alíquotas correspondentes às doses do lodo, coletadas na estação de tratamento, foram misturadas ao solo da camada 0 a 10 cm e acondicionados nos vasos após o preenchimento com o solo da camada 10 a 30 cm. O teor de umidade foi mantido por meio da aplicação de água destilada em volume equivalente à média do volume e da frequência de chuvas da região de Pirai do Sul, durante o período de condução do ensaio. Aos 117 dias após a implantação do ensaio, foi realizada a avaliação com a coleta de amostras de solo da camada 0 a 20 cm e do efluente resultante das aplicações de água para irrigação. Os tratamentos aplicados alteraram as características avaliadas, com exceção daquele observado na matéria orgânica e no teor de Mg. O aumento das doses promoveu o aumento do pH CaCl₂, dos teores de P, Ca e K e da saturação por bases, com maior impacto no teor de P. Os teores de Al trocável, da acidez potencial e da saturação de Al trocável foram diminuídos com o aumento das doses do resíduo. Não há evidências de contaminação do solo e da água pela aplicação do resíduo estudado.

Palavras-Chave: solos; atributos; resíduo celulósico

Introdução

A destinação final de resíduos resultante do tratamento de efluentes das indústrias de celulose e papel tem sido um dos grandes desafios desse setor. A alternativa de disposição em aterros industriais é onerosa e gera uma responsabilidade com prazo e custo indefinidos.

A aplicação em áreas de plantios florestais é uma alternativa para descarte desses resíduos, solucionando um problema ambiental de disposição, ao mesmo tempo em que contribui para a reposição de nutrientes exportados com a retirada da biomassa florestal. Além dos nutrientes remanescentes da biomassa vegetal processada para a obtenção da celulose, parte de componentes utilizados na digestão da celulose e no tratamento dos efluentes permanecem no lodo celulósico gerado.

Os resíduos podem ter potencial de utilização comercial, porém, é necessário o pleno conhecimento de suas características, principalmente de seus efeitos no ambiente. Foi objetivo desse trabalho avaliar o efeito de um resíduo celulósico em algumas características químicas do solo e em efluentes resultantes de sua aplicação em solo cultivado com *Pinus taeda*.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido em casa de vegetação da *Embrapa Florestas*, em Colombo, PR. A implantação foi feita em 07/08/2008 utilizando mudas de *P. taeda* com cinco meses e meio de idade, cujas sementes foram originadas de árvores clonais de primeira geração. Foram utilizados vasos com 15 cm de diâmetro e 35 cm de altura, confeccionados com acetato transparente fixado em uma base de concreto, sendo plantada uma muda por vaso. Na base de concreto foi afixado um equipamento (equipo) para coleta do efluente. Os vasos foram preenchidos com amostras de um NEOSSOLO LITÓLICO Húmico, coletado na camada de 0 a 10 e 10 a 30 cm, no município de Pirai do Sul, PR, sendo obedecida a ordem das camadas no perfil, para o preenchimento dos vasos. O solo utilizado apresentava as seguintes características (SILVA, 1999): camada 0 a 10 cm - pH em CaCl₂ = 3,83; CO = 27,18 g dm⁻³; P = 2,41 mg dm⁻³; K = 0,06 cmol_c dm⁻³; Ca = 0,11 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,25 cmol_c dm⁻³; Al = 2,63 cmol_c dm⁻³; H + Al = 9,70 cmol_c dm⁻³; V = 4,1%; m = 86,4 %; areia = 77,4; silte = 4,4 % e argila = 17,7 % e camada 10 a 30 cm - pH em CaCl₂ = 3,88; CO = 15,94 g dm⁻³; P = 1,65 mg dm⁻³; K = 0,04 cmol_c dm⁻³; Ca = 0,10 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,20 cmol_c dm⁻³; Al = 2,63 cmol_c dm⁻³; H + Al = 8,36 cmol_c dm⁻³; V = 3,9%; m = 88,8 %; areia = 75,9 %; silte = 5,5% e argila = 18,6 %. Após secagem, peneiragem e homogeneização, porções da amostra do solo foram colocadas nos recipientes.

¹ Primeiro Autor é Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisas Florestais da Embrapa – Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, Colombo, PR, CEP 83411-000. e-mail: maeda@cnpf.embrapa.br.

² Segundo e terceiro autores são Pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisas Florestais da Embrapa – Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, Colombo, PR, CEP 83411-000.

Os tratamentos constituídos de doses do lodo, em base seca, foram equivalentes a 0; 10; 20; 40 e 80 Mg ha⁻¹, aplicados sob o delineamento estatístico inteiramente ao acaso com quatro repetições. As alíquotas do lodo, secas e moídas, equivalentes às doses aplicadas, foram incorporadas à camada de 0 a 10 cm, sendo o teor de água mantido nesse nível com a aplicação de água destilada na quantidade equivalente ao volume médio de chuvas da região de Pirai do Sul, PR durante o período de condução do ensaio.

O ensaio foi avaliado 117 dias após sua implantação, sendo analisadas amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm. Nessas amostras, além de determinações de rotina foram determinados os teores de Ba, Cd, Cr, Pb, Mo, Cu e Zn. No efluente coletado ao final do período de condução do ensaio foram determinados os teores de Ba, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, nitrato e nitrito. As determinações de rotina foram feitas em todas as repetições de todos os tratamentos, enquanto as demais foram feitas em uma amostra composta por subamostras de solo e do efluente dos tratamentos 0 e 80 Mg ha⁻¹.

Os resultados analíticos referentes à caracterização do lodo celulósico encontram-se na Tabela 1.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativos, as médias de cada variável foram submetidas ao teste de Tukey a 5% e à análise de regressão.

Resultados

A aplicação de doses do lodo celulósico promoveu alterações em todas as características avaliadas no solo, com exceção feita aos teores de carbono orgânico e de Mg (Tabela 2 e Figura 1). Dentre as alterações observadas, pode-se destacar o comportamento crescente no teor de P que de um teor inicial de 2,12, passou para 6,71 mg dm⁻³ na maior dose de lodo. Por ser um dos nutrientes mais deficientes na maioria dos solos do Brasil, a capacidade do resíduo em aumentar o teor de P no solo o potencializa como um sucedâneo de produtos utilizados para o fornecimento de P.

O aumento das doses de lodo aplicadas promoveu a redução da acidez do solo mostrada pelo aumento no valor do pH em CaCl₂, com o maior valor sendo observado para a maior dose estudada. Houve, ainda, a redução na acidez potencial (H + Al), no teor de Al trocável e na saturação de Al (m), com os menores valores observados na maior dose estudada. Os aumentos observados nos teores de K e de Ca resultaram na elevação da saturação por bases (V) (Tabela 2 e Figura 1).

Os teores de Ba, Cu, Cr e Zn contidos na maior dose estudada ficaram abaixo dos teores limites de qualidade apresentados por Companhia...(2005), para teores no solo. No efluente (água percolada), todas as variáveis analisadas apresentaram teores

abaixo do valor máximo permitido (VMP) na ausência e na maior dose do lodo, conforme valores padrões apresentados por Ministério...(2005), não havendo indícios aparentes de contaminação provocada pela aplicação do lodo estudado. Com relação aos teores de Cd, Pb e Mo no solo, os limites de detecção dos métodos analíticos foram maiores que os teores limites de qualidade do solo apresentados por Companhia...(2005), não permitindo qualquer tipo de comparação entre os tratamentos e com esses valores. Por serem nutrientes para as plantas, a presença de Cu, Mo e Zn pode ser fator favorável à aplicação do lodo celulósico estudado em condições de solos deficientes e de culturas exigentes nos mesmos.

Discussão

O lodo celulósico estudado apresenta baixo poder de neutralização - PN - da acidez (Tabela 1). Apesar disso, em função das doses estudadas serem relativamente elevadas, foram verificadas aumentos no pH até a maior dose, embora os incrementos tenham sido reduzidos. Devido ao valor do PN do resíduo estudado, a acidez potencial e o teor e a saturação de Al trocável também foram diminuídos. Para espécies tolerantes à acidez e à presença de Al, como é o caso do *Pinus taeda* a redução da acidez e da sua saturação do Al no solo estudado não é fundamental para a sua exploração econômica. A redução observada no teor de Al trocável indica que a forma química do Al presente no lodo apresenta baixa solubilidade ou é insolúvel em água.

Embora apresentando baixos teores de P, K e de Ca (Tabela 1), em função das doses estudadas serem elevadas, as quantidades dos nutrientes aplicadas foram suficientes para promover a elevação dos teores dos mesmos no solo, principalmente nas maiores doses estudadas.

Os teores de Ba, Cd, Pb, Cu, Cr total, Mo e Zn, contidos no lodo celulósico estudado encontram-se abaixo dos valores máximos permitidos pela Resolução 375/2006 (Brasil, 2006), embora a mencionada resolução seja específica para lodo de esgoto. Na ausência de legislação específica, a Resolução 375/2006 tem sido utilizada como referência (Costa, 2008). Em função dos baixos teores desses elementos, "a carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas" estabelecida pela mencionada resolução não foi atingida mesmo na maior dose estudada. Os baixos teores desses elementos presentes no resíduo podem explicar os efeitos observados entre os tratamentos avaliados.

Conclusões

A aplicação de lodo de estação de tratamento de efluente de fábrica de celulose promoveu alterações em propriedades químicas do solo estudado:

- aumentou o pH do solo até a maior dose estudada;
- reduziu o teor de Al trocável bem como sua saturação e a acidez potencial, com os menores valores para essas variáveis sendo observadas na maior dose aplicada nesse estudo;

- c) não se observaram efeitos sobre os teores de Mg e da matéria orgânica;
 d) elevou os teores de Ca, K e P e o nível de saturação por bases, com destaque para o teor de P e,
 e) não promoveu a contaminação do solo e da água por Ba, Cu, Cd, Cr, Pb, Mo e Zn.

Referências

- [1] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 30 de agosto de 2006. *Diário Oficial Republica Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 30 de agosto de 2006. Seção 1, p. 141-146.
 [2] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Decisão de diretoria n. 195-2005 - E, de 23 de novembro de 2005. Disponível em

:<HTTP://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf.

- [3] COSTA, E. R. O. 2008. *Alterações químicas no solo e na água de percolação após aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em Pinus taeda L.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 138 f.
 [4] MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2005 [Online]. *Portaria MS nº 518/2004*. Homepage: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf.
 [5] SILVA, F.C. da (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, DF – Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro – Embrapa Solos; Campinas – Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

Tabela 1. Resultados de análise química realizada para fins de caracterização do lodo celulósico.

Parâmetro	Unidade	Valor	Parâmetro	Unidade	Valor
pH água	-	7,7	Ca	mg/kg	2169,81
Teor de umidade	%	89,63	Pb	mg/kg	< 50
Cinzas	%	3,22	Cu	mg/kg	11,42
Matéria Orgânica	%	7,15	Cr total	mg/kg	6,26
C total	%	3,97	Fe	mg/kg	4374,28
N total	%	< 0,01	Mg	mg/kg	768,49
S total	%	1,16	Mn	mg/kg	167
P ₂ O ₅ total	%	0,50	Mo	mg/kg	< 10
Fenóis total	mg/kg	5,35	K	mg/kg	208,71
Al	mg/kg	76160,9	Na	mg/kg	2065,44
Ba	mg/kg	< 50	Zn	mg/kg	31,58
Cd	mg/kg	< 10	Poder de Neutralização	%	2,56

Tabela 2. Médias das variáveis analisadas no solo e resultados do teste de médias (Tukey 5%)* e coeficiente de variação - CV

Dose	pH	CO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V	m
Mg ha ⁻¹	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			%			
0	3,97 e	17,89 a	2,12 c	0,050 d	0,21 c	0,32 a	3,04 a	10,65 a	5,16 d	83,98 a
10	4,05 d	16,16 a	3,77 bc	0,052 d	0,25 c	0,37 a	2,30 b	9,35 b	6,63 cd	77,47 b
20	4,12 c	16,61 a	5,11 ab	0,062 c	0,31 c	0,40 a	2,18 b	9,53 b	7,49 c	73,74 b
40	4,23 b	20,50 a	5,85 ab	0,066 b	0,48 b	0,41 a	1,87 bc	8,08c	10,72 b	65,73 c
80	4,41 a	18,03 a	6,71 a	0,070 a	0,71 a	0,39 a	1,34 c	6,95 d	14,48 a	53,16 d
CV - %	0,67	14,12	19,88	8,40	14,94	15,55	11,93	5,35	7,79	3,72

* valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si (Tukey 5%).

Tabela 3. Resultados de análise química de amostras de solo e efluente, formuladas por amostras coletadas nos tratamentos 0 e 80 Mg ha⁻¹ e teores de qualidade do solo (Companhia..., 2005) e valor máximo permitido – VMP na água (Ministério da Saúde, 2005)

Variáveis	Solo			Efluente		
	Tratamento		Companhia...(2005) Nível de qualidade	Tratamento		Ministério...(2005) VMP
	0 Mg ha ⁻¹	80 Mg ha ⁻¹		0 Mg ha ⁻¹	80 Mg ha ⁻¹	
	mg kg ⁻¹			mg L ⁻¹		
Ba	< 40,81	< 40,83	75	< 0,50	< 0,50	0,7
Cd	< 8,16	< 8,17	< 0,5	< 0,0005	< 0,0005	0,005
Pb	< 40,81	< 40,83	17	< 0,005	< 0,005	0,01
Cu	< 8,16	9,96	35	< 0,005	< 0,005	2
Cr total	10,28	11,11	40	< 0,005	< 0,005	0,05
Mo	< 8,16	< 8,17	< 4	-	-	-
Zn	35,5	32,28	60	-	-	-
NO ₃	-	-	-	< 0,10	< 0,10	10
NO ₂	-	-	-	0,02	0,04	1

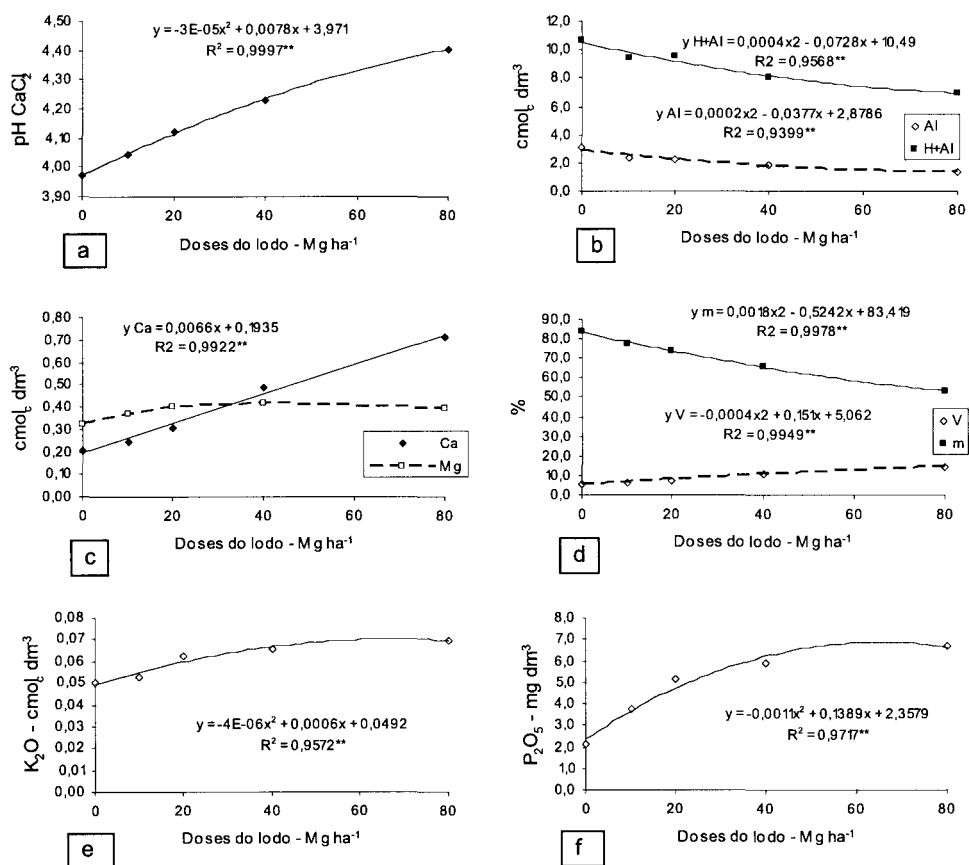


Figura 1. Características químicas do solo como resultado da aplicação de doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria de celulose. ** significativo a 1%.