

Desenvolvimento de *Pinus taeda* submetido a doses da mistura de lodo celulósico e cinza de caldeira

Anne Luize Sass⁽¹⁾; Shizuo Maeda⁽²⁾; Itamar Antonio Bognola⁽²⁾

⁽¹⁾ Estudante de Agronomia na Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, annesass@ufpr.br, bolsista CNPq

⁽²⁾ Pesquisadores da Embrapa Florestas, Colombo – PR

RESUMO: O uso de madeira de reflorestamento para processos de extração de celulose gera grande quantidade de resíduos que necessitam ser dispostos adequadamente, preferencialmente visando o aproveitamento. Esse trabalho, conduzido em Piraí do Sul – PR desde 2011, tem como objetivo verificar a influência da aplicação de doses de lodo de clarificação e cinza de caldeira - proporção 7:3 na fertilidade do solo, na altura e nos teores foliares de nutrientes em árvores de *Pinus taeda*. A altura, o diâmetro a altura do peito e o volume cilíndrico responderam quadraticamente à elevação das doses da mistura, sendo a máxima atingida com a aplicação de 38 t ha⁻¹, mostrando assim que as árvores estão com o crescimento limitado pela carência de nutrientes e que o reaproveitamento do resíduo possibilita ganhos significativos. Houve resposta significativa ao aumento das doses do resíduo com aumentos nos teores foliares de K e B, e redução nos teores de P, N e Mn. Constatou-se correlação positiva entre altura e os teores foliares de K, S e B, que, no entanto, não apresentaram mudanças significativas nos seus teores no solo. Para outras características relativas à fertilidade do solo não se constataram alterações significativas, excetuando-se os teores de Cu, o que possivelmente se deve ao pouco tempo de solubilização do composto.

Termos de indexação: resíduos, adubação, reaproveitamento.

INTRODUÇÃO

Há uma demanda crescente por madeira de reflorestamento no mundo, ação esta que visa principalmente preservar as áreas de floresta nativa. No Brasil, uma das espécies mais cultivadas para este fim é o *Pinus sp.*, que se estende por cerca de 1,8 milhão de hectares, concentrados principalmente na região sul do país, que detém 83% dos plantios (ABRAF, 2012). Comumente utilizado na indústria de celulose, o beneficiamento dessa matéria prima gera múltiplos resíduos, como casca de madeira, lama de cal, lodo biológico, resíduo celulósico e cinza de caldeira.

Porém, os resíduos mais significativos em termos quantitativos são o lodo de clarificação – lodo

celulósico e a cinza de biomassa florestal. O lodo celulósico é um resíduo do tratamento de efluentes da extração da celulose gerado em estação de tratamento de efluentes das fábricas de celulose e papel. Por outro lado, a cinza de biomassa florestal provém das caldeiras auxiliares de geração de energia utilizados nos processos das fábricas de celulose e papel. Ao longo dos anos, esses dois resíduos passaram a se acumular nas empresas, sendo dispostos em aterros, que geram custos de construção e manutenção. Sendo assim, o acúmulo desses materiais é danoso, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Por isso, medidas que priorizem o reaproveitamento desses materiais são necessárias e economicamente interessantes.

As áreas destinadas aos plantios florestais normalmente possuem solos de baixa fertilidade. Tendo em vista que estes resíduos contêm consideráveis teores de nutrientes poder-se-ia utilizá-los como fonte de nutrientes para reposição dos nutrientes extraídos em ciclos anteriores, permitindo melhores condições de desenvolvimento das árvores dos plantios subseqüentes, resolvendo o problema de disposição dos resíduos gerados Prado et al. (2002).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da aplicação da mistura lodo celulósico e cinza de caldeira no desenvolvimento de árvores de *Pinus taeda* e em características químicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em Piraí do Sul, Paraná, em solo caracterizado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, EMBRAPA (1999), anteriormente cultivado com pinus, cujas características químicas encontram-se na tabela 1, Silva et al. (1999). O clima da região é classificado como Cfb de Köppen, com temperaturas anuais variando entre 16 a 18°C e precipitação média anual de 1400 a 1600 mm conforme Machado et al., (2004).

O material de estudo consiste numa mistura de lodo celulósico – 70% com cinza de caldeira – 30%, compostados durante aproximadamente 12 meses, cujos resultados analíticos encontram-se mencionados na Tabela 2. Para definirem-se as doses utilizadas como tratamento, tomou-se como

base o critério de manter e elevar a saturação por bases a 20, 40, 60 e 80%, doses essas correspondentes a 14, 25, 49 e 60 Mg ha⁻¹ do material, respectivamente, além da testemunha sem aplicação da mistura.

Tabela 1 – Características químicas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, antes da aplicação do resíduo.

pH	Al ⁺³	H + Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB
CaCl ₂ ----- cmol _c dm ⁻³ -----						
4,07	0,69	3,97	0,04	0,02	0,03	0,1
P	Na ⁺	C	V	m	CTC pH 7,0	t
mg dm ⁻³		g dm ⁻³	-----%-----		cmol _c dm ⁻³	
0,2	0,01	3,67	2,5	87,3	4,07	0,79

Tabela 2 – Teores de nutrientes presentes no material utilizado no estudo, composto por lodo de clarificação + cinza de caldeira.

Variável	%	Variável	(mg kg ⁻¹)
Nitrogênio	0,89	Ferro	7800,00
P ₂ O ₅	0,36	Cobre	13,04
K ₂ O	0,45	Boro	181,79
MgO	0,77	Manganês	537,61
CaO	0,71	Zinco	94,62
MO	56,08	-	-
Enxofre	0,81	-	-

O plantio das mudas de *Pinus taeda* ocorreu em janeiro de 2011. Em junho deste mesmo ano foram aplicadas as doses correspondentes a cada tratamento, de forma superficial, sem incorporação.

Um ano após a instalação do experimento amostras de solo foram coletadas das camadas 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm e analisadas em relação à fertilidade do solo, no Laboratório de Química e Física do Solo da Embrapa Florestas, conforme Silva et al. (1999). Foi realizada também a avaliação biométrica (altura e diâmetro a altura do peito – 1,3m) das árvores e coleta de amostras foliares, as quais foram coletadas no verticilo inferior do terço superior da copa, priorizando-se as últimas folhas recém-maduras.

A análise estatística dos dados obtidos foi feita considerando o modelo em blocos ao acaso com cinco repetições. Quando significativo a 5% as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott, a 5%. A análise da Correlação de Pearson foi utilizada para observar-se a relação entre a altura e os teores foliares de nutrientes. As doses estudadas e as variáveis biométricas foram submetidas à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Excetuando-se os teores de Cu (Tabela 3), não se observou efeito significativo dos tratamentos em variáveis relativas à fertilidade do solo. É provável que esse efeito se deva ao pouco tempo de reação considerado e à baixa solubilidade do material aplicado. No entanto, mesmo que não tenha ocorrido resposta em termos da fertilidade do solo, foi possível observar efeito na absorção de alguns nutrientes, avaliado pelos seus teores foliares (Tabela 3), indicando que estas são mais sensíveis a oscilações de teores do que o solo. Os teores de K e B aumentaram com a aplicação de doses do material com efeitos quadráticos - $K = -0,0013x^2 + 0,0851x + 3,82$; $R^2 = 0,96^{**}$ e $B = -0,0104x^2 + 1,2067x + 10,78$; $R^2 = 0,91^{**}$, com teores máximos atingidos com a aplicação, respectivamente, de 33 e 58 Mg ha⁻¹ do material. No caso do K, o teor crítico segundo Sybert (2006) é de 4,0 g kg⁻¹, o que indica que a aplicação do material proporcionou melhorias no estado nutricional das árvores. Por outro lado, no caso do B o teor crítico, segundo o mesmo autor, é de 10 mg kg⁻¹, não havendo dessa forma, benefícios nutricionais. Nos casos do N, P e Mn, apesar das reduções observadas nos teores dos mesmos com a aplicação das doses do material, os teores observados situaram-se acima dos respectivos valores críticos (Sybert, 2006).

Como resposta à aplicação das doses do material estudado, houve melhoria no crescimento das árvores avaliadas pela altura, diâmetro à altura do peito – DAP e volume cilíndrico do tronco – VC, com efeito quadrático nas três características, sendo os máximos valores para a altura, DAP e VC obtidos, respectivamente, com a aplicação de 38; 37 e 35 Mg ha⁻¹ do resíduo (Figura 1).

No solo, diferentemente do que ocorreu nas folhas, não houve aumento significativo de B para as doses, mas há correlação positiva entre as árvores mais altas e este nutriente, logo, as árvores de maior porte são as que mais extraíram o elemento, mesmo que o teor no solo não tenha apresentado diferença significativa entre tratamentos.

Conforme mostrado na Tabela 5, houve correlação positiva entre os teores foliares de K, S e B e a altura das árvores, indicando o aumento dos teores desses nutrientes está relacionado com o crescimento das árvores em altura. Nos casos dos teores foliares de N, Fe, Mn e Zn a correlação foi negativa. No entanto, mesmo com a redução nos teores, estes ainda se mantêm acima dos limites críticos para a espécie, Sybert (2006).

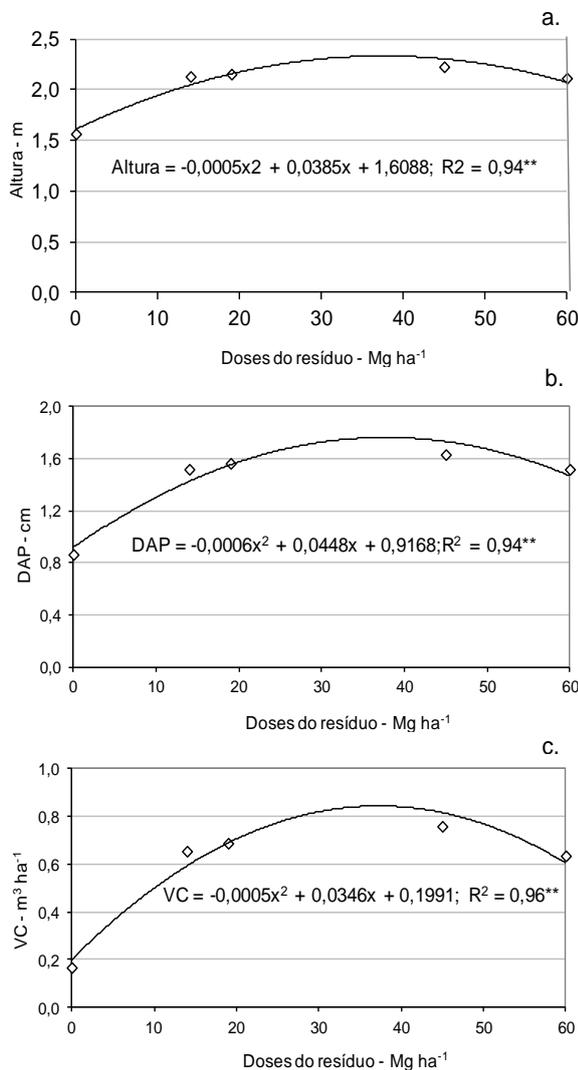


Figura 1. Relações entre altura (a), diâmetro a altura do peito - DAP (b) e volume cilíndrico - VC (c) de árvores de *Pinus taeda* e doses da mistura de lodo e cinza resíduo.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação de Pearson - r e níveis de significância – signif. entre teores foliares de nutrientes – nutr. e altura das árvores de *Pinus taeda*.

Nutr	r	Signif.	Nutr	r	Signif.
N	-0,98	0,00	S	0,71	0,09
P	-0,60	0,14	Fe	-0,94	0,01
K	0,79	0,05	Mn	-0,93	0,01
Na	0,26	0,33	Cu	0,07	0,46
Ca	-0,10	0,44	Zn	-0,76	0,07
Mg	-0,51	0,19	B	0,73	0,08

CONCLUSÕES

A aplicação do mistura de lodo celulósico e cinza de caldeira promove melhorias no desenvolvimento das árvores de *Pinus taeda*.

Há melhoria do estado nutricional das árvores de *P. taeda* com aumentos nos teores de K e B

Os teores foliares K, S e B correlacionam-se positivamente com a altura das árvores de *P. taeda*.

REFERÊNCIAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011/ ABRAF. – Brasília: 2012.

BOGNOLA, I. A.; FASOLO, P. J.; BHERING, S. B.; MARTORANO, L. G. Solos, Clima e Vegetação dos Campos Gerais. In: MACHADO, P. L. O. de; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. Agricultura de Precisão para o Manejo da fertilidade... 1.ed. Rio de Janeiro, 2004. P. 57-75.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, 412p, 1999.

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.

SYPERT, R. H. Diagnosis of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Nutrient deficiencies by foliar methods. Thesis Master of Science in Forestry, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 2006.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. de M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas goiabeiras. Acta Scientiarum, v. 24, p. 1493 – 1500. 2002.

Tabela 3 - Características químicas de camadas do solo, submetido a doses (Mg ha^{-1}) de resíduo (70% lodo de clarificação e 30% cinza de caldeira), coletado 12 meses após a implantação do experimento. Pirai do Sul - PR.

Camadas e doses	pH	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	CO	P	S	Zn	Fe	Mn	B	Cu
	CaCl_2	g kg^{-1}	-----	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	-----	g kg^{-1}	-----	-----	-----	mg dm^{-3}	-----	-----	-----
C1													
0	3,76	0,03	0,12	0,00	0,99	8,65	3,30	12,667	0,15	60,50	1,65	0,31	0,30 b
14	3,81	0,04	0,16	0,00	0,93	8,72	3,81	10,667	0,30	76,15	1,75	0,23	0,32 b
29	3,77	0,03	0,11	0,00	0,93	8,30	4,60	10,667	0,45	72,05	1,98	0,18	0,43 a
45	3,81	0,03	0,07	0,01	0,77	6,30	5,10	10,000	0,23	76,13	1,50	0,21	0,45 a
60	3,94	0,03	0,14	0,01	0,63	6,84	3,64	14,000	0,23	84,93	1,53	0,38	0,47 a
C2													
0	3,93	0,02	0,11	0,00	0,76	6,44	1,80	13,33	0,23	61,85	1,25	0,21	0,40
14	3,89	0,03	0,11	0,00	0,73	6,18	1,71	15,67	0,18	91,18	1,28	0,16	0,48
29	3,88	0,02	0,05	0,00	0,70	4,82	2,16	10,33	0,20	84,53	0,98	0,15	0,48
45	3,87	0,02	0,05	0,02	0,62	4,46	2,16	15,00	0,20	77,45	1,45	0,23	0,55
60	4,03	0,03	0,06	0,00	0,51	5,36	1,59	18,67	0,23	93,93	1,43	0,29	0,58
C3													
0	4,00	0,02	0,09	0,00	0,64	6,41	0,34	20,33	0,18	83,13	0,88	0,22	0,48
14	4,02	0,02	0,06	0,02	0,51	4,09	2,36	20,67	0,18	69,03	1,28	0,17	0,50
29	4,01	0,02	0,03	0,00	0,57	2,83	0,69	13,67	0,30	69,48	0,93	0,21	0,55
45	4,01	0,02	0,03	0,01	0,45	3,44	0,27	18,00	0,18	84,78	1,33	0,20	0,50
60	4,10	0,02	0,04	0,00	0,38	3,97	0,57	30,33	0,20	94,68	1,83	0,31	0,45

C1, C2 e C3 referem-se às camadas 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 cm. Médias seguidas por letras iguais nas colunas e em cada camada de solo não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. Ausência de letras indica igualdade pelo mesmo teste.

Tabela 4 - Teores de nutrientes em amostras de acículas de *Pinus taeda* submetidas à doses (Mg ha^{-1}) de resíduo (70% lodo de clarificação e 30% cinza de caldeira), coletados 12 meses após implantação do experimento. Pirai do Sul - PR.

Doses (Mg ha^{-1})	----- g kg^{-1} -----						----- mg kg^{-1} -----					
	N	P	K	Na	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
0	21,73 a	2,68 a	3,83 b	0,11	1,23	0,71	1,17	69,50	1225,90 a	23,50	53,00	14,00 b
14	18,87 b	2,76 a	4,70 a	0,12	1,24	0,73	1,28	66,50	768,20 b	21,50	48,50	18,48 b
25	18,80 b	1,79 b	5,35 a	0,12	1,24	0,69	1,57	67,00	678,50 b	21,75	49,50	40,03 a
49	18,78 b	1,70 b	4,85 a	0,10	1,10	0,63	1,37	65,25	508,30 c	26,00	43,50	46,80 a
60	18,07 b	1,62 b	4,28 b	0,11	1,38	0,68	1,45	67,00	489,90 c	24,25	50,25	43,80 a
CV (%)	5,13	10,87	10,79	12,35	16,58	8,10	15,62	7,21	16,75	12,55	9,40	24,30

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.