

ISSN 1679-2599

Outubro, 2007

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

Documentos 154

Alterações Químicas no Solo e Resposta de *Pinus taeda* à Aplicação de Cinza de Biomassa Vegetal em Campo e em Casa-de-Vegetação

Shizuo Maeda
Helton Damin da Silva
Antonio Francisco Jurado Bellote
Dalva Luiz de Queiroz Santana
Ildelfonso A. A. Saldanha
Renato Antônio Dedecek
Edson Alves de Lima

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319
83411 000 - Colombo, PR - Brasil
Fone/Fax: (41) 3675 5600
www.cnpf.embrapa.br
sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Luiz Roberto Graça
Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida
Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Edilson Batista de Oliveira,
Honorino Roque Rodigheri, Ivar Wendling, Maria Augusta Doetzer Rosot,
Patrícia Póvoa de Mattos, Sandra Bos Mikich, Sérgio Ahrens

Supervisão editorial: Luiz Roberto Graça
Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté
Normalização bibliográfica: Eliabeth Câmara Trevisan

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté
Foto(s) da capa: Shizuo Maeda

1ª edição

1ª impressão (2007): sob demanda

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

Alterações químicas no solo e resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em campo e em casa-de-vegetação [recurso eletrônico] / Shizuo Maeda ... [et al.]. Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2007.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 154)

1. Fertilidade do solo. 2. Nutrição vegetal. 3. Biomassa vegetal - Cinza - Adubação. 4. *Pinus taeda*. I. Maeda, Shizuo. II. Silva, Helton Damín da. III. Bellote, Antonio Francisco Jurado. IV. Santana, Dalva Luiz de Queiroz. V. Saldanha, Ildefonso A. A. VI. Dedeczek, Renato Antônio. VII. Lima, Edson Alves de. VIII. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

© Embrapa 2007

Autores

Shizuo Maeda

Engenheiro Agrônomo, Dr.,
pesquisador da *Embrapa Florestas*
e-mail: maeda@cnpf.embrapa.br

Helton Damin da Silva

Engenheiro Florestal, Dr.,
pesquisador da *Embrapa Florestas*
e-mail: helton@cnpf.embrapa.br

Antonio F. J. Bellote

Engenheiro Agrônomo, Dr.,
pesquisador da *Embrapa Florestas*
e-mail: bellote@cnpf.embrapa.br

Dalva L. de Q. Santana

Engenheira Agrônoma, Dr.,
pesquisadora da *Embrapa Florestas*
e-mail: dalva@cnpf.embrapa.br

Ildfonso A. A. Saldanha

Engenheiro Florestal,
gerente de silvicultura e manejo da Celulose Irani SA
e-mail: ildefonsosaldanha@papel.irani.com.br

Renato Antônio Dedecek

Engenheiro Agrônomo, PhD,
pesquisador da *Embrapa Florestas*
e-mail: dedecek@cnpf.embrapa.br

Edson Alves de Lima

Engenheiro Agrônomo, Dr.,
pesquisador da *Embrapa Florestas*
e-mail: edson@cnpf.embrapa.br

Apresentação

O uso de recursos naturais de forma sustentável é uma preocupação cada vez mais presente no meio de produção florestal.

A utilização criteriosa de resíduos industriais como insumo no processo de produção florestal, além de contribuir para a manutenção da produtividade madeireira, repondo nutrientes retirados com a colheita da madeira, resolve-se o problema de descarte desses resíduos, eliminando um passivo ambiental oneroso financeiramente, pela necessidade de dispor de estruturas adequadas para seu armazenamento.

Pelas suas características químicas, a cinza de biomassa vegetal gerada em caldeira tem despertado interesse no meio florestal, podendo constituir-se numa importante fonte de nutrientes de baixo custo.

Relatam-se nesse documento resultados de trabalhos conduzidos para avaliar os efeitos de sua aplicação no desenvolvimento de mudas, em características químicas do solo e na lixiviação de elementos químicos presentes em conservantes da madeira em condições de vaso. Expõem-se também os resultados da aplicação de cinza em condições de campo, onde são aplicadas doses da mesma e avaliados os efeitos sobre as árvores e em características químicas do solo.

Sérgio Gaiad
Chefe da Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

1. Introdução	9
2. Ensaio Conduzidos	11
2.1. Avaliação do efeito de cinza de caldeira em plantas de <i>Pinus taeda</i> L. em vaso e na lixiviação de nutrientes e outros elementos químicos	11
2.2. Efeito de doses de cinza de caldeira, no crescimento de árvores de <i>Pinus taeda</i> e em características químicas do solo	22
3. Conclusões	26
Referências	26

Alterações Químicas no Solo e Resposta de *Pinus taeda* à Aplicação de Cinza de Biomassa Vegetal em Campo e em Casa-de-Vegetação

Shizuo Maeda

Helton Damim da Silva

Antonio Francisco Jurado Bellote

Dalva Luiz de Queiroz Santana

Ildefonso A. A. Saldanha

Renato Antônio Dedecek

Edson Alves de Lima

1. Introdução

A lei de incentivos fiscais, cuja promulgação ocorreu na década de 1960, incentivou o plantio de espécies florestais de rápido crescimento. Com isso, na Região Sul do Brasil, extensas áreas foram ocupadas, predominantemente com *Pinus taeda* L. e *P. elliottii* var. *elliottii*, constituindo-se na base de importantes atividades industriais como a produção de celulose e papel, embalagens, aglomerados, mobiliário, compensados, chapas dentre outras. Estima-se em aproximadamente 1,84 milhão de ha a área ocupada por espécies de *Pinus* no Brasil, em 2001. Na Região Sul, a área plantada é estimada em 1,06 milhão de ha, sendo 605 mil ha no Paraná, 318 mil ha em Santa Catarina e 136 mil ha no Rio Grande do Sul (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2001).

O plantio de espécies florestais para exploração comercial da madeira ocorre predominantemente em áreas com baixa fertilidade do solo. Com isso, e associado à intensificação das rotações, a produtividade florestal pode ser reduzida, caso medidas de manejo da fertilidade do solo não sejam aplicadas.

A idéia inicial de que as plantações de *Pinus* dispensariam a prática da fertilização mineral foi condicionada pela rapidez de crescimento das árvores e ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações. Todavia, estreita correlação entre os fatores de solo e o estado nutricional e a produtividade dessas espécies têm sido demonstrada (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2005).

O crescente consumo mundial de fertilizantes vem provocando a elevação dos custos de aquisição e de aplicação, o que tem incentivado os silvicultores a procurar meios alternativos de manejo da fertilidade do solo florestal, com intuito de reduzir os custos de produção.

A cinza gerada pela combustão de biomassa florestal para produção energética vem ganhando importância devido as suas características físicas e químicas, que possibilitam a sua utilização como fonte de nutrientes para as árvores, com melhorias em propriedades físicas e químicas do solo (MORO; GONÇALVES, 1995). Para espécies de *Eucalyptus*, aumentos de produtividade e efeitos benéficos no solo e na microflora e mesofauna, com reflexos na decomposição da serapilheira, foram registrados em trabalhos conduzidos por Ferreira et al. (1995) e por Bellote et al. (1995), indicando a possibilidade de utilizar a cinza em substituição aos adubos minerais ou como suplementação da adubação mineral e orgânica.

Relata-se nesse texto os resultados de trabalhos conduzidos com os objetivos de:

- avaliar o potencial de uso de cinza de biomassa florestal para a adubação de *P. taeda* nas condições de solo e clima da região oeste de Santa Catarina;
- monitorar alterações nutricionais e possíveis desbalanços acarretados pelo uso de altas doses de cinza em plantios e em casa-de-vegetação;
- detectar alterações na água de percolação do solo, e sua possível implicação ecológica, em condições de casa-de-vegetação em solo representativo da região oeste de Santa Catarina.

2. Ensaios Conduzidos

2.1 Avaliação do efeito de cinza de caldeira em plantas de *Pinus taeda* L. em vaso e na lixiviação de nutrientes e outros elementos químicos

Objetivos

a) avaliar o efeito de cinza de biomassa florestal gerada em caldeira sobre o desenvolvimento de mudas de *P. taeda* em vaso e sobre a lixiviação de nutrientes da planta e elementos químicos utilizados no tratamento de madeira.

Metodologia

O ensaio foi instalado em casa-de-vegetação da *Embrapa Florestas*, em Colombo, PR, em 15 de agosto de 2006, utilizando mudas de *Pinus taeda*, as quais apresentavam aproximadamente 6 meses de idade.

Foram utilizados vasos confeccionados com acetato transparente em uma base de concreto, conforme ilustrado na Figura 1. Os vasos apresentam 15 cm de diâmetro e 35 cm de altura.

Foi utilizada amostra de um CAMBISSOLO Húmico distrófico, coletado na localidade denominada Campina da Alegria, Município de Vargem Bonita, SC, o qual foi enviado para a *Embrapa Florestas*, em Colombo, PR. Após secar e peneirar, o solo foi colocado nos vasos na seqüência de sua coleta no campo, que foram nas camadas de 0 a 10 cm e 10 cm a 30 cm, sendo as doses de cinza de caldeira aplicadas na camada mais superficial.

Os tratamentos constituídos de doses de cinza de caldeira foram equivalentes a 0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ (base seca), distribuídos em delineamento estatístico inteiramente ao acaso e quatro repetições.

O teor de umidade foi mantido em níveis considerados adequados por meio de irrigações com água destilada e deionizada.



Figura 1. Ilustração de vaso com dispositivo para visualização das raízes e para coleta de água de percolação.

A avaliação final do ensaio foi realizada em 27 de fevereiro de 2007. Coletou-se a parte aérea cortando as mudas ao nível do solo. Após a coleta da biomassa, procedeu-se a percolação de água em volume suficiente para a coleta de 2 L de água, a qual foi analisada para determinação de elementos químicos lixiviados. Em seguida, amostras de solo foram coletadas das profundidades 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm. Posteriormente foram coletadas as raízes para avaliação de suas biomassas secas.

O efeito da cinza sobre o desenvolvimento das mudas foi avaliado utilizando-se como parâmetro o crescimento relativo em altura e em diâmetro do caule das mudas, realizando uma avaliação na instalação do ensaio e outra ao final do período de condução do mesmo.

Os resultados das análises realizadas nas amostras de cinza utilizada no estudo encontram-se relacionados nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises das amostras de solo, antes da instalação do ensaio.

Tabela 1. Resultados analíticos da amostra da cinza de caldeira utilizada no estudo.

pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Ca + Mg	Al	H + Al	MO	P	Na
	cmol _c dm ⁻³						g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	
11,23	6,89	4,11	0,30	4,41	0	0	37,62	714	160

obs.: P, K e Na extraído por Mehlich 1; Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1N e MO extraído K₂Cr₂O₇ (Walkley-Black).

Tabela 2. Teores¹ de As, Cr total e Cu determinados no lixiviado e no solubilizado da cinza utilizada no ensaio.

Elemento	Extrato		Teores limites ²	
	Solubilizado	Lixiviado	Solubilizado	Lixiviado
	mg L ⁻¹			
As	< 0,005	< 0,5	0,01	1,0
Cu	< 0,50	-	2,0	-
Cr total	< 0,05	< 0,05	0,05	5,0

¹ Determinados conforme ABNT NBR 10005 e ABNT NBR 10006; ² conforme ABNT NBR 10004.

Tabela 3. Resultados analíticos das amostras de solo coletadas na localidade de Campina da Alegria, SC, e utilizadas neste estudo.

Cam.	pH	K	Ca	Mg	Al	H + Al	T	V	MO	Na	P
cm	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻¹						%	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	
0-10	4,0	0,08	0,69	0,64	5,9	13,1	14,5	7,8	47,9	8	2,0
10-30	4,1	0,10	1,10	0,47	5,9	13,6	15,2	11,0	38,1	5	1,7

obs.: P, K e Na conforme Mehlich 1; Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1N e MO extraído K₂Cr₂O₇ (Walkley-Black); T = capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0; V = saturação por bases da T a pH 7,0.

Resultados

Conforme pode ser observado na Tabela 4, a cinza analisada apresenta quantidades expressivas de nutrientes, principalmente de K₂O e de P₂O₅, sugerindo que o produto apresenta potencial para ser utilizado na

fertilização do solo.

Tabela 4. Quantidades de nutrientes estimadas com base nas doses de cinza aplicada e nos resultados analíticos da Tabela 1.

Dose da cinza	Elementos				
	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹				
10	102,7	36,5	1,9	51,8	5,2
20	205,4	72,9	3,8	103,5	10,4
40	410,8	145,9	7,6	207,1	20,8
80	821,5	291,8	15,3	414,2	41,6

obs.: densidade da cinza = 0,316 g mL⁻¹

Efeito da cinza sobre o crescimento das mudas em altura, diâmetro do caule e biomassa seca.

Não se observou efeito da aplicação da cinza de caldeira sobre o crescimento em altura e diâmetro do caule e sobre a biomassa seca das mudas de *P. taeda* (Tabela 5). Pode-se considerar a hipótese de que as quantidades de nutrientes existentes no solo foram suficientes para suprir as necessidades das mudas durante o período de crescimento nos vasos, visto que, as plantas de *P. taeda* são pouco exigentes em fertilidade do solo. Deve-se considerar também que o tempo de condução do experimento não permitiu a observação de respostas em crescimento uma vez que as plantas de pínus demoram para expressar as respostas ao aporte de nutrientes, em crescimento (altura e diâmetro).

Tabela 5. Resultados de avaliações do efeito de doses de cinza de caldeira no crescimento relativo em altura (h) e diâmetro do caule (dc) de mudas e em massas secas da raiz (r), da parte aérea (pa) e total de *Pinus taeda*.

Dose da cinza t ha ⁻¹	Crescimento relativo		Massa seca		
	h	dc	r	pa	total
	----- % -----		----- g -----		
0	110,0	160,5	3,95 b	18,01	21,95
10	114,5	150,0	4,47 b	21,28	25,75
20	128,0	205,0	4,89 ab	23,24	28,13
40	135,7	189,2	6,66 a	24,82	31,48
80	99,5	231,5	4,53 b	19,99	29,32
CV - %	15,70	11,26	18,77	18,73	17,81



Figura 2. Plantas de *Pinus taeda* nos diferentes tratamentos do ensaio.

Efeito da cinza sobre a lixiviação de elementos químicos

Uma importante preocupação em estudos sobre a aplicação de cinza de caldeira em áreas de produção, seja agrícola ou florestal, é quanto à presença de elementos químicos tóxicos, oriundos da queima de biomassa tratadas com conservantes químicos, principalmente aqueles a base de Cr e As. Resíduos dos componentes desses conservantes permanecem na cinza, ao contrário de fenóis, oriundos, por exemplo, do pentaclorofenato de sódio, que são degradados durante a combustão da biomassa.

Com base em orientações contidas na Portaria MS n.º 518/2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2005), a qual “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”, determinaram-se os teores de Cu, As e Cr total, na água percolada nos vasos com as doses de cinza aplicadas. Conforme pode ser observada na Tabela 6, os teores de Cu, As e Cr total, em todas as doses situaram-se em níveis inferiores ao valor máximo permitido (VMP), o que pode ser atribuído, entre outros fatores, aos baixos teores presentes na cinza, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 6. Teores de As, Cu, Cr total e B em amostras de água percolada nos tratamentos estudados.

Elemento	Doses de cinza – t ha ⁻¹					VMP
	0	10	20	40	80	
----- mg L ⁻¹ -----						
As ¹	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01
Cu ¹	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	2
Cr total ¹	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
B ²	0,052	0,030	0,013	0,044	0,011	*

¹ Determinado conforme Portaria MS n.º 518/2004; ² determinado conforme Tedesco et al. (1985); não representa risco para a saúde (Portaria MS 518/2004).

Na Tabela 7, são apresentados os demais resultados da análise realizada na água percolada nos vasos. Chama atenção o potencial de perdas de nutrientes presentes na cinza utilizada no estudo. Para cada mm de chuva há um potencial de lixiviação estimado em 10 g ha^{-1} , considerando um teor de 1 mg L^{-1} . Considerando que na região de Campina da Alegria, a média histórica anual de chuvas varia em torno de 1.800 mm , o potencial de lixiviação anual estimado é de $18 \text{ kg ha.ano}^{-1}$, para cada mg L^{-1} do nutriente na água percolada. Na maior dose, o acréscimo no potencial de lixiviação de K contido no resíduo é de $110,8 \text{ kg ha}^{-1}$ no primeiro ano após a aplicação do resíduo. Acrescido da quantidade lixiviada no tratamento sem aplicação de resíduo, a quantidade total lixiviada pode atingir $172,8 \text{ kg ha}^{-1}$ no primeiro ano após a aplicação da cinza.

Tabela 7. Resultados analíticos de água percolada nas diferentes doses de cinza (t ha^{-1}), determinado conforme Tedesco et al. (1985).

Dose ¹	pH CaCl ₂	CE ²	P	K	Na	Ca	Mg	B
		mS.m ⁻¹						
água ³	5,0	0,003	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
0	3,6	0,35 b	0,00 b	3,0 b	3,8 b	57,5 a	8,0	0,00
10	3,9	0,26 b	0,15 a	3,0 b	5,1 ab	37,6 ab	5,1	0,03
20	4,0	0,44 ab	0,15 a	5,5 ab	4,6 ab	35,5 ab	7,4	0,05
40	3,8	0,44 ab	0,03 ab	4,8 ab	6,4 a	40,8 a	4,5	0,07
80	3,8	0,69 a	0,01 b	9,6 a	3,6 b	13,6 b	2,8	0,04
CV - %	8,1	31,2	112,0	44,0	25,7	30,5	90,0	69,0

¹ – doses de cinza; ² – condutividade elétrica; ³ – água destilada e desionizada

Efeito da cinza sobre características químicas do solo

Na Tabela 8 são apresentados os resultados analíticos dos efeitos das doses de cinza de caldeira aplicadas nas características avaliadas, em cada camada amostrada. Na mencionada tabela, pode ser observado que a aplicação de cinza de caldeira não teve efeito nas relações Ca/K e Ca/Mg, em nenhuma das camadas, enquanto a relação (Ca + Mg)/K, foi alterada na camada 10 mm a 20 cm. Nas demais características avaliadas, as doses de cinza apresentaram efeito significativo em todas as camadas.

A cinza aplicada diminuiu a acidez, avaliada pelo pH em CaCl₂, além de promover a elevação dos teores de cátions básicos, resultando na elevação da saturação por bases na capacidade de troca de cátions, cujos valores

atingidos, foram significativamente maiores a partir da aplicação de 10 t ha⁻¹. Esse efeito foi observado em todas as camadas.

Ressalvadas as questões relacionadas com a eventual presença de elementos tóxicos, a principal preocupação em relação à aplicação do resíduo estudado, refere-se às alterações que o mesmo pode provocar nas relações entre os nutrientes reduzindo a disponibilidade dos mesmos para as plantas. Com a elevação do pH em níveis próximos à neutralidade, pode-se induzir, entre outros efeitos, a deficiências de micronutrientes, como são os casos do Mn e do Zn, por exemplo. Nesse estudo, com a aplicação de 80 t ha⁻¹, o valor do pH em CaCl₂ foi de 5,2, na camada de 0 a 10 cm, o que equivale a aproximadamente 5,8 do pH em água.

Embora não existam informações para *Pinus*, para cultura como a soja, valores para saturação de K na CTC do solo superiores a 2,5 % são desejáveis. No caso deste estudo, no solo arenoso esse valor foi superado com a aplicação de 10 t ha⁻¹, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm. Na camada mais profunda, o valor mencionado foi superado com a maior dose.

No que se refere à saturação por bases (V%), a faixa considerada adequada para *Pinus* é de 40 % a 50 %. Nesse trabalho, para as camadas de 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm, as doses necessárias para se atingir o limite inferior, são respectivamente, 8,0; 10,6 e 13,0 t ha⁻¹, e para atingir o limite superior, nas mesmas camadas, as doses são, respectivamente, de 13,8; 17,5 e 23,7 t ha⁻¹. Considerando a média dos valores de saturação por bases das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, alcançados com a aplicação da cinza, as doses de cinza necessárias para atingir, respectivamente, 40 % e 50% da saturação por bases são de 8,5 t ha⁻¹ e 14,8 t ha⁻¹ (Figura 3).

Com relação ao P, o efeito foi significativo para as doses estudadas nas duas camadas superiores (Tabela 8). Os altos teores observados na maior dose, nas camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, podem resultar em desequilíbrios na absorção de Zn, além da possível interferência na funcionalidade do sistema micorrízico do pínus.

Nas relações Ca/K e Ca/Mg, o efeito da aplicação não foi significativo, indicando que, a aplicação da cinza não resultou em alterações nessas características. O mesmo pode ser considerado para a relação (Ca + Mg)/K (Tabela 9).

Na relação $K/\sqrt{Ca + Mg}$, apenas na camada mais profunda não se observou efeito significativo (Tabela 8). Para pínus não existem referências de valores adequados para a razão dessa relação.

Em geral, a aplicação da cinza resultou em efeitos mais pronunciados na camada mais superficial, uma vez que a cinza foi incorporada nessa camada (Tabela 9). Os aumentos nos teores de nutrientes observados nas camadas mais profundas, podem ser atribuídos ao deslocamento de componentes do resíduo juntamente com a água aplicada na irrigação e durante o procedimento de percolação a qual foi submetido.

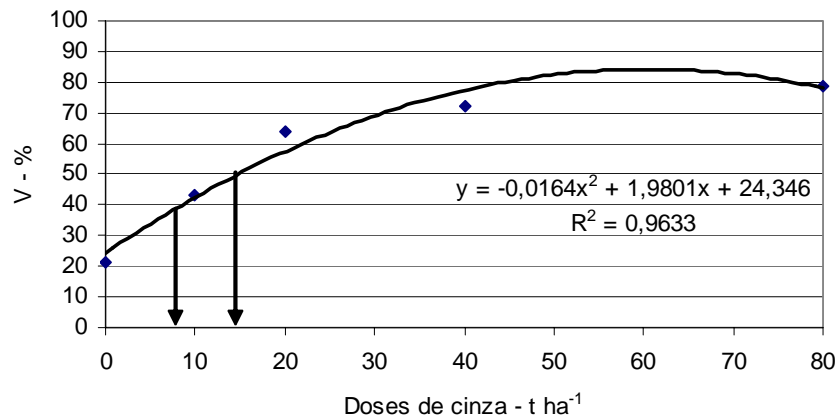


Figura 3. Equação de regressão considerando o efeito de doses de cinza na média da saturação por bases das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm.

Tabela 8. Resultados de teste de Tukey (5 %) aplicado em características químicas de amostras de solo coletadas nas camadas 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm do solo submetidos a doses - base seca - de cinza de caldeira. Efeito de doses em cada camada. Médias de quatro repetições.

Dos t ha ⁻¹	Cam. - cm -	pH CaCl ₂	Ca	Mg	Al	K	T	V	C	P	K ₁	Ca/K	Ca/Mg	(Ca + Mg)/K	$K/\sqrt{Ca + Mg}$
			----- cmolc dm ⁻³ -----					-- % --	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	%	-	-	-	-
0	0-10	4,0 c	0,84 c	0,41 c	1,2 a	0,01 c	6,2 a	21,9d	23,0 b	3,0 b	1,1 c	12,9	2,3	18,1	0,06 c
10	0-10	4,2 c	2,78 b	1,03 b	0,5 b	0,26 bc	8,4 b	49,1 c	25,6 a	3,9 b	3,1 bc	10,7	2,9	14,7	0,13 bc
20	0-10	4,6 b	4,77 a	1,83 a	0,3 bc	0,51 abc	10,4 a	68,8 b	24,6 ab	7,2 b	4,8 ab	9,5	2,6	13,1	0,20 abc
40	0-10	4,8 b	5,64 a	1,94 a	0,0 c	0,78 ab	11,2 a	75,3 ab	24,6 ab	12,5 b	7,0 ab	7,2	2,9	9,7	0,29 ab
80	0-10	5,2 a	5,99 a	2,08 a	0,0 c	1,05 a	11,3 a	82,0 a	22,9 b	34,0 a	9,0 a	10,4	3,0	14,7	0,37 a
0	10-20	3,9 c	0,91 b	0,36 c	1,3 a	0,07 c	6,6 b	21,0 d	18,1	1,4 b	1,1 c	12,7	7,1	17,6 a	0,06 c
10	10-20	4,1 c	1,87 b	0,65 bc	1,2 a	0,16 c	7,3 b	37,2 c	21,0	2,1 b	2,2 c	12,2	5,8	15,9 a	0,10 bc
20	10-20	4,4 b	3,55 a	1,36 ab	0,9 ab	0,29 bc	8,8 a	59,3 b	20,5	3,5 b	3,3 bc	12,2	2,7	16,9 a	0,13 bc
40	10-20	4,6 b	4,12 a	1,89 a	0,6 bc	0,49 b	10,0 a	68,9 a	20,5	4,1 b	4,9 b	9,5	2,0	14,3 ab	0,20 b
80	10-20	5,1 a	4,16 a	2,17 a	0,3 c	0,85 c	9,2 a	75,9 a	21,8	20,2 a	9,3 a	5,0	2,3	7,3 b	0,35 a
0	20-30	3,9 c	1,29 b	0,37 c	1,4 a	5,26 a	7,0 b	25,2 c	21,2 a	0,9	1,1 b	17,6	4,9	22,5	0,06
10	20-30	4,0 bc	1,60 b	0,73 bc	1,3 a	4,79 ab	7,3 ab	33,8 bc	18,6 ab	1,5	1,2 b	19,3	2,5	27,8	0,06
20	20-30	4,3 abc	2,84 ab	1,12 ab	1,3 a	4,03 abc	8,1 ab	49,8 ab	18,3 ab	1,9	1,5 b	24,5	2,5	34,1	0,06
40	20-30	4,4 ab	3,43 a	1,74 a	0,7 b	3,56 bc	9,0 a	59,3 a	15,1 b	1,7	1,7 ab	25,8	2,1	37,8	0,07
80	20-30	4,7 a	2,75 ab	1,28 ab	0,9 ab	3,03 c	7,6 ab	60,3 a	17,0 ab	7,6	5,7 a	8,3	2,1	12,2	0,22

1 – saturação de K da T; * valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente (Tukey 5 %); ausência de letras indica igualdade entre os valores pelo mesmo teste.

Tabela 9. Resultados de teste de Tukey (5 %) aplicado em características químicas de amostras de solo coletadas nas camadas 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm do solo submetidos a doses - base seca - de cinza de caldeira. Médias de quatro repetições.

Dose t ha ⁻¹	Camada - cm -	pH CaCl ₂	Ca	Mg	Al	K	T	V	C	P	K ₁	Ca/K	Ca/Mg	(Ca + Mg)/K	$K/\sqrt{Ca + Mg}$
			----- cmolc dm ⁻³ -----					-- % --	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	%	-	-	-	-
0	0-10	4,0	0,84	0,41	1,2	0,01	6,2 b	21,9 ab	23,0	3,0	1,1	12,9	2,3	18,1	0,06
0	10-20	3,9	0,91	0,36	1,31	0,07	6,6 ab	21,0 ab	18,1	1,4	1,1	12,7	7,1	17,6	0,06
0	20-30	3,9	1,29	0,37	1,38	5,26	7,0 a	25,2 a	21,2	0,9	1,1	17,6	4,9	22,5	0,06
10	0-10	4,2	2,78	1,03	0,5 b	0,26 a	8,4 a	49,1 a	25,6 a	3,9 a	3,1 a	10,7	2,9	14,7 b	0,13
10	10-20	4,1	1,87	0,65	1,18 a	0,16 b	7,3 ab	37,2 b	21,0 b	2,1 b	2,2 b	12,2	5,8	15,9 b	0,10
10	20-30	4,0	1,60	0,73	1,29 a	4,79 c	7,3 b	33,8 b	18,6 b	1,5 b	1,2 c	19,3	2,5	27,8 a	0,06
20	0-10	4,6 a	4,77 a	1,83 a	0,3 c	0,51 a	10,4 a	68,8 a	24,6 a	7,2 a	4,8 a	9,5	2,6	13,1 b	0,20 a
20	10-20	4,4 ab	3,55 ab	1,36 ab	0,94 b	0,29 b	8,8 ab	59,3 ab	20,5 b	3,5 b	3,3 b	12,2	2,7	16,9 b	0,13 b
20	20-30	4,3 b	2,84 b	1,12 b	1,31 a	4,03 c	8,1 b	49,8 b	18,3 b	1,9 b	1,5 c	24,5 a	2,5	34,1 a	0,06 c
40	0-10	4,8	5,64 a	1,94	0,0 b	0,78 a	11,2 a	75,3 a	24,6 a	12,5 a	7,0 a	7,2	2,9	9,7 b	0,29 a
40	10-20	4,6	4,12 ab	1,89	0,57 ab	0,49 b	10,0 ab	68,9 ab	20,5 a	4,1 b	4,9 b	9,5	2,0	14,3 ab	0,20 b
40	20-30	4,4	3,43 b	1,74	0,71 a	3,56 c	9,0 b	59,3 b	15,1 b	1,7 b	1,7 c	25,8	2,1	37,8 a	0,07c
80	0-10	5,2	5,99 a	2,08 a	0,0 b	1,05	11,3 a	82,0 a	22,9 a	33,8	9,0	10,4	3,0	14,7	0,37
80	10-20	5,1	4,16 b	2,17 ab	0,31 ab	0,85	9,2 b	75,9 a	21,8 a	20,2	9,3	5,0	2,3	7,3	0,35
80	20-30	4,7	2,75 c	1,28 b	0,92 a	3,03	7,6 c	60,3 b	17,0 b	7,6	5,7	8,3	2,1	12,2	0,22

1 – saturação de K da T; * valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente (Tukey 5%); ausência de letras indica igualdade entre os valores pelo mesmo teste.

2.2. Efeito de doses de cinza de caldeira, no crescimento de árvores de *Pinus taeda* e em características químicas do solo

Objetivos: a) - avaliar o efeito de cinza de caldeira sobre o desenvolvimento de *P. taeda* em condições de campo – árvores com 2 anos e

b) - avaliar o efeito de cinza de caldeira em características químicas do solo.

Metodologia

O ensaio foi instalado em área de plantio comercial, com dois anos de implantação, no Distrito de Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC, em julho de 2006.

Os tratamentos constituídos de doses de cinza de caldeira foram equivalentes a 0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹, distribuídos em delineamento estatístico em blocos ao acaso e quatro repetições. As parcelas são constituídas de cinco fileiras com cinco árvores espaçadas em 2,5 m x 2,0 m, sendo as avaliações realizadas na área útil, constituídas das nove árvores centrais. As doses de cada tratamento foram aplicadas a lanço, uniformemente nas parcelas.

Em março de 2007 foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 20 cm, para análise química.

Em julho de 2007, avaliaram-se a altura das árvores e o diâmetro à altura do peito. Foram estimados valores médios das três maiores árvores de cada parcela para a avaliação do efeito das doses no crescimento das árvores em altura e em diâmetro à altura do peito.

Resultados

Conforme pode ser observado na Tabela 10, não houve efeito significativo da aplicação de doses de cinza de caldeira no crescimento das árvores de *P. taeda*, em altura e diâmetro à altura do peito.

Entre as possíveis causas desse comportamento, podem ser mencionadas:
a) condições químicas, no que se refere-se à disponibilidade de nutrientes,

no solo, adequadas para o normal desenvolvimento das árvores de *P. taeda*; como pode ser observado na Tabela 11, onde os teores de K encontram-se em níveis altos, e o de P em nível médio, conforme Corso (2006); b) estreito intervalo de tempo entre a aplicação e a avaliação realizada, não possibilitando a manifestação do efeito dos tratamentos sobre o desenvolvimento das árvores, e c) os incrementos em crescimento das árvores são mais acentuados a partir do quinto ano de plantio no campo.

Tabela 10. Resultados médios de altura e de diâmetro à altura do peito (DAP), obtidas de três árvores dominantes de *P. taeda* por parcela, aos três anos de idade, avaliadas um ano após a aplicação dos tratamentos.

Doses de cinza – t.ha ⁻¹	Altura das árvores - m	DAP - cm
0	4,69	7,74
10	4,52	7,70
20	4,53	7,00
40	4,39	7,90
80	4,47	7,90
Probabilidade de F	0,6552	0,6629
CV - %	6,21	12,5

Os resultados analíticos de amostras de solo coletadas na camada de 0 a 20 cm mostrados na Tabela 11 indicam que as doses de cinza aplicadas não influenciaram na capacidade de troca de cátions, no teor de matéria orgânica e nas relações Ca/K, Ca/Mg e (Ca + Mg)/K. Nas demais características, houve efeito da aplicação do produto, como a elevação dos teores de Ca, Mg, K, S e P, mostrando que o resíduo pode ser importante fornecedor desses nutrientes.

Chama atenção os expressivos efeitos sobre o pH e a saturação por bases. Nos níveis de pH e de saturação por bases observados a partir da dose de 20 t ha⁻¹, pode ocorrer a indisponibilização de micronutrientes pela insolubilização dos mesmos, o que pode provocar a deficiência na absorção desses pelas árvores, prejudicando o desenvolvimento das mesmas. Na

camada de solo analisada, os valores de pH atingem valores próximos da neutralidade a partir da dose de 20 t ha⁻¹, resultando na neutralização do Al.

Com base na equação de regressão desenvolvida entre as doses de cinza aplicadas e os efeitos na saturação por base na camada 0 a 20 cm, estimou-se que para atingir 40 % e 50 % na saturação por bases seriam necessárias a aplicação de 7,2 t ha⁻¹ e 11,5 t ha⁻¹ de cinza, respectivamente (Figura 3).

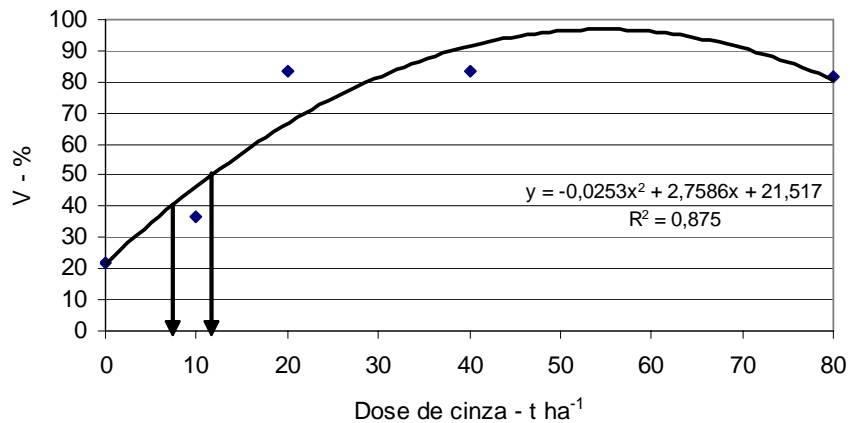


Figura 3. Equação de regressão considerando o efeito de doses de cinza na saturação por bases da camada 0 a 20cm.

Tabela 11. Resultados analíticos* de amostras de solo coletadas na camada de 0 a 20 cm, no ensaio de doses de cinza de caldeira conduzido a campo, no Distrito de Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC.

Dose	pH	Ca	Mg	K	S	Al	H+Al	t	T	P	V	Na	MO	K	Ca/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	$K/\sqrt{Ca+Mg}$
t ha ⁻¹	CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	%	g kg ⁻¹	%	-	-	-	-		
0	4,0 b	1,2 b	0,6 b	0,2 c	2,1 c	1,0 a	7,3 a	3,0 c	9,4	3,8 c	21,9 c	0,4 c	35,2	1,8 c	8,6	2,4	13,0	0,13 ab
10	4,2 b	1,8 b	1,4 ab	0,2 bc	3,5 bc	0,5 b	6,2 a	4,0 bc	9,7	5,3 bc	36,5 b	0,8 c	37,5	2,2 bc	8,0	1,4	15,3	0,12 b
20	6,1 a	5,7 a	2,1 ab	0,7 bc	8,7 ab	0,0 c	1,5 b	8,7 abc	10,2	19,1 a	83,2 a	2,0 b	38,9	6,4 ab	10,1	3,1	14,4	0,24 ab
40	5,9 a	6,2 a	3,0 a	0,9 a	10,3 a	0,0 c	1,8 b	10,3 a	12,1	18,3 a	83,4 a	2,2 b	35,8	7,2 a	7,3	2,1	10,7	0,29 ab
80	5,9 a	6,0 a	2,1 ab	0,9 a	9,3 ab	0,0 c	1,9 b	9,3 ab	11,1	17,6 ab	81,7 a	3,1 a	32,8	7,8 a	7,2	2,8	10,3	0,30 a
F **	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,01	0,00	0,00	0,18	0,00	0,72	0,37	0,34	0,02
CV %	5,96	44,5	45,9	53,1	40,7	49,5	18,9	37,8	22,9	51,5	14,5	26,4	9,5	36,6	36,9	53,4	32,3	36,7

* S = soma de bases; t = CTC efetiva; H + Al = acidez potencial, T = CTC a pH 7,0; V = saturação por bases; Na = saturação por sódio na T; MO = matéria orgânica, K - % - saturação de K na T. ** - probabilidade de F

3. Conclusões

- a) A cinza de biomassa florestal estudada não apresentou em sua composição elementos químicos com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas;
- b) Os resultados da análise química do solo e da água de percolação, obtidos no experimento de casa-de-vegetação, indicaram que a cinza de caldeira estudada não apresenta risco aparente de contaminação do solo ou da água de lixiviação;
- c) A aplicação de doses de cinza de caldeira não alterou o crescimento de mudas de *Pinus taeda* com seis meses de idade avaliadas em casa-de-vegetação e em árvores com três anos de idade avaliadas em campo;
- d) A cinza pode contribuir para a melhoria da fertilidade do solo.

Referências

- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. C. Efecto de la aplicación de ceniza y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPOSIO IUFRO PARA CONO SUR SUDAMERICANO, 1995, Valdivia. **Manejo nutritivo de plantaciones forestales**: actas. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 1995. p. 317-323.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS n.º 518/2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2008.
- CORSO, N. M. (Coord.). **Trabalhador em reflorestamento**: cultivo de pínus. Curitiba: SENAR, 2006. 68 p.
- FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. C. Efecto de la aplicación de ceniza y residuo de celulosa en la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPOSIO IUFRO PARA CONO SUR SUDAMERICANO, 1995, Valdivia. **Manejo nutritivo de plantaciones forestales**: actas. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 1995. p. 335-339.
- MORO, L.; GONÇALVES, J. L. de M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 18-27, jan./dez. 1995.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-165.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas**: área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (Ha) - 2000. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/area_plantada.htm>. Acesso em: 26 out. 2007.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. Paginação irregular. (Boletim técnico, 5).