

ISSN 1679-2599

Outubro, 2007

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

Documentos 155

Caracterização Química de Cinza de Biomassa Vegetal e Respostas à sua Aplicação em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR

Shizuo Maeda

Helton Damin da Silva

Washington Luiz Esteves Magalhães

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: Lidia Woronkoff
Tratamento de ilustrações:
Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté
Foto(s) da capa: STCP Engenharia de Projetos

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

Maeda, Shizuo.

Caracterização química de cinza de biomassa vegetal e respostas à sua aplicação em latossolo e cambissolo de Piraí do Sul, PR. [recurso eletrônico] / Maeda Shizuo, Helton Damin da Silva, Washington Luiz Esteves Magalhães. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2007.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 155)

1. Fertilizante. 2. Biomassa vegetal – Cinza – Propriedade físico-química. I. Silva, Helton Damin da. II. Magalhães, Washington Luiz Esteves. III. Título. IV. 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

Washington Luiz Esteves Magalhães

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

Apresentação

Os resíduos gerados pela atividade industrial madeireira constituem-se num passivo ambiental, que necessitam de destinação que sejam ambientalmente aceitáveis e economicamente viáveis.

Entre esses resíduos, a cinza de biomassa vegetal, gerada em caldeira, tem despertado interesse no meio florestal pelas suas características químicas para uso como fonte de nutrientes. Viabilizada essa destinação, resolve-se o problema de descarte desse resíduo e contribui-se com a manutenção da produtividade dos solos com a reposição de nutrientes retirados com a colheita da madeira.

Relatam-se nesse documento resultados de trabalhos conduzidos para a caracterização química da cinza de biomassa vegetal, visando avaliar o seu potencial como fornecedor de nutrientes, e para avaliar os efeitos de sua aplicação no desenvolvimento de mudas de *Pinus taeda* e em características químicas do solo e na lixiviação de elementos químicos presentes em conservantes da madeira.

Sérgio Gaiad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	9
Estudos Realizados	11
Conclusões	24
Literatura Citada	24

Caracterização Química de Cinza de Biomassa Vegetal e Respostas à sua Aplicação em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR

Shizuo Maeda

Helton Damim da Silva

Washington L. E. Magalhães

Introdução

Na Região Sul do Brasil, extensas áreas foram ocupadas, predominantemente com *Pinus taeda* L. e *P. elliottii* var. *elliottii*, após a promulgação da lei de incentivos fiscais, ocorrida na década de 60 do século passado. Estima-se a existência de aproximadamente 1,84 milhão de ha plantado com espécies de pinus no Brasil em 2001, dos quais 1,06 milhão de ha encontram-se na Região Sul, 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). Essas plantações constituem-se na base de importantes atividades industriais como a produção de celulose e papel, embalagens, aglomerados, mobiliário, compensados, chapas, dentre outras, sendo responsáveis pelo fornecimento de mais de 90 % da madeira consumida no Paraná.

Nos últimos anos, os expressivos aumentos dos preços do petróleo, da energia elétrica e do gás natural têm estimulado o uso de formas alternativas de energia como a gerada a partir de biomassa florestal em caldeiras. Com isso, grande quantidade de cinza tem sido gerada e a sua disposição adequada é uma preocupação crescente, principalmente quando provenientes de madeira tratada com preservativos químicos hidrosolúveis como o arseniato de cobre cromatado (CCA) e o borato de cobre cromatado (CCB), que contém Cr e As, os quais podem contaminar o solo com a sua aplicação.

A cinza gerada é resultante da combustão em nível variável da madeira, sendo a sua composição qualitativa e quantitativa dependente da biomassa utilizada, da temperatura de carbonização, responsável pela maior ou menor sublimação dos componentes químicos.

Devido à predominância do uso de solos de baixa fertilidade para a exploração comercial da madeira e associado à intensificação das rotações, a utilização de cinza de biomassa florestal como fornecedora de nutrientes e condicionadora do solo vem ganhando importância devido as suas características físicas e químicas (MORO; GONÇALVES, 1995). Além disso, a crescente demanda mundial por fertilizantes vem provocando a elevação dos custos de aquisição e de aplicação de fertilizantes minerais, que levam os silvicultores a procurar meios alternativos de manejo florestal, com intuito de reduzir despesas.

A possibilidade de utilizar a cinza de biomassa florestal em substituição aos adubos minerais ou como suplementação da adubação mineral e orgânica em plantios com espécies de *Eucalyptus* foi observada em trabalhos desenvolvidos na década de 90 do século passado, nos quais foram registrados aumentos de produtividade, bem como efeitos benéficos no solo e sua microflora e mesofauna, com reflexos na decomposição da serapilheira (FERREIRA et al., 1995 e BELLOTE et al., 1995).

Devido à rapidez no crescimento das árvores e a ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, condicionou-se a idéia de que as plantações de *Pinus* dispensariam a prática da fertilização mineral. Entretanto, estreita interdependência entre os fatores de solo e as suas relações com o estado nutricional e a produtividade dessas espécies tem sido demonstrada (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2005).

Relata-se, nesse texto, o resultado de atividades de pesquisa que tiveram como objetivos:

- caracterizar quimicamente amostra de cinza de caldeira, resultante da queima de biomassa vegetal;
- avaliar alterações nutricionais e possíveis desequilíbrios no solo

acarretados pelo uso de altas doses de cinza em casa-de-vegetação em *Pinus taeda* L.

- detectar possíveis alterações em água percolada, e sua possível implicação ecológica, em condições de casa-de-vegetação em solos representativos da região de Piraí do Sul, PR.

Estudos realizados

1 – Caracterização química de amostras de cinza de caldeira

Objetivos - Identificar e quantificar os nutrientes minerais e elementos químicos tóxicos presentes na cinza oriundos de compostos utilizados no tratamento preservativo da madeira.

Metodologia

Amostra de cinza de caldeira coletada em indústria de celulose e papel foi submetida à análise química em laboratório da TECPAR, segundo metodologia descrita em Kiehl (1985), indicada para análise de fertilizantes orgânicos.

Resultados

Conforme resultados apresentados na Tabela 1, a amostra de cinza analisada é um material alcalino e com a presença de As e Cr, os quais podem ser resultantes da queima de biomassa tratada com preservativos de madeira como são os casos do arseniato de cobre cromatado (CCA) e do bromato de cobre cromatado (CCB). Os resultados indicam ainda que a cinza analisada pode ser importante como fornecedora de nutrientes, principalmente de P, K, Ca, Fe e Mn e que apresentou 25,90 g 100 g⁻¹ de matéria orgânica total, sugerindo que a combustão da biomassa não foi completa.

Tabela 1. Resultados analíticos da cinza utilizada no estudo.

Característica	Valor/unidade	Característica	Valor/unidade
pH – água	11,2	P total	3020,0 mg kg ⁻¹
pH – CaCl ₂ 0,01M	10,6	K total	11949,0 mg kg ⁻¹
Umid. perdida a 65° C	13,9 g 100 g ⁻¹	Ca total	26018,0 mg kg ⁻¹
Umid. perdida entre 65 e 110° C	0,5 g 100 g ⁻¹	Mg total	4176,0 mg kg ⁻¹
Resíduo mineral total 550°C	59,4 g 100 g ⁻¹	S total	616,7 mg kg ⁻¹
Resíduo mineral solúvel	14,9 g 100 g ⁻¹	Na total	1002,0 mg kg ⁻¹
Resíduo mineral insolúvel	44,5 g 100 g ⁻¹	Cr total	34,7 mg kg ⁻¹
Carbono orgânico	5,9 g 100 g ⁻¹	As total	6,4 mg kg ⁻¹
Carbono total	14,4 g 100 g ⁻¹	Cu total	34,0 mg kg ⁻¹
Matéria orgânica total	25,9 g 100 g ⁻¹	Fe total	15482,0 mg kg ⁻¹
Matéria orgânica resistente	15,2 g 100 g ⁻¹	Mn total	1156,0 mg kg ⁻¹
Fenóis totais	< 0,5 mg kg ⁻¹	B total	59,8 mg kg ⁻¹
N total	1040,0 mg kg ⁻¹	Zn total	48,2 mg kg ⁻¹

Ensaio baseado em Kiehl (1985).

2 - Avaliação do efeito de cinza de caldeira no desenvolvimento de mudas de *Pinus taeda* L. e na lixiviação de elementos químicos em CAMBISSOLO e LATOSSOLO, em casa-de-vegetação

Objetivos: a) avaliar o efeito de cinza de caldeira sobre o desenvolvimento de mudas de *Pinus taeda* ;

b) avaliar o efeito de cinza de caldeira na lixiviação de nutrientes minerais e elementos químicos componentes de substâncias químicas utilizadas no tratamento de madeira.

Metodologia

Os ensaios foram instalados em casa-de-vegetação da *Embrapa Florestas*, em Colombo, PR, em 30 de janeiro de 2007, utilizando mudas de *P. taeda* com seis meses de idade.

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

Amostras de um Cambissolo e um Latossolo, coletados na camada de 0 a 20 cm no Município de Piraí do Sul, PR, foram enviadas para a *Embrapa Florestas*, em Colombo, PR. Após secar e peneirar, os solos foram colocados nos vasos, sendo as doses de cinza de caldeira (em base seca) incorporadas na camada de 0 a 10 cm.

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

A avaliação final dos ensaios foi realizada em 26 de junho de 2007. A parte aérea das mudas foi coletada cortando cada muda rente ao solo. Em seguida, procedeu-se a percolação, aplicando água destilada e deionizada na parte superficial de cada vaso em volume suficiente para a coleta de 2 L de água, a qual foi analisada para determinação de elementos químicos lixiviados.



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

Após a percolação, 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, as quais juntamente com o material coletado na parte aérea, foram secas em estufa para avaliação de suas biomassas.

Para avaliar o efeito da cinza sobre o desenvolvimento das mudas, foram utilizados como parâmetros o crescimento relativo em altura e em diâmetro do caule das mudas, realizando uma avaliação na instalação e outra ao final do período de condução do ensaio. Avaliaram-se também as massas secas produzidas pela parte aérea, pela raiz e total.

Os resultados das análises químicas e físicas iniciais dos solos estudados são relatados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das análises física e química inicial dos solos utilizados nos ensaios.

Característica	Cambissolo	Latossolo
pH CaCl ₂	3,90	4,20
K - cmol _c dm ⁻³	0,15	0,40
Ca - cmol _c dm ⁻³	0,42	2,52
Mg - cmol _c dm ⁻³	0,32	0,19
Al - cmol _c dm ⁻³	2,20	1,00
H + Al - cmol _c dm ⁻³	12,10	6,40
Na - cmol _c dm ⁻³	0,03	0,06
T - cmol _c dm ⁻³	13,00	9,60
V - %	7,10	33,00
C - mg dm ⁻³	34,20	24,40
P - mg dm ⁻³	4,41	0,68
Areia grossa - g 100 g ⁻¹	56,90	33,70
Areia fina - g 100 g ⁻¹	11,70	5,95
Silte - g 100 g ⁻¹	17,40	16,35
Argila - g 100 g ⁻¹	14,00	44,00

Resultados

Conforme pode ser observado na Tabela 3, a cinza analisada apresenta quantidades expressivas de nutrientes, principalmente de K e de P, sugerindo que o produto apresenta potencial para ser utilizado na fertilização do solo. O destaque dado a esses nutrientes deve-se ao fato de serem os elementos essenciais ao crescimento do *Pinus* e, por isso, os mais utilizados nos programas de adubação da cultura.

Tabela 3. Quantidades* potencialmente adicionáveis de matéria orgânica compostável (MO) e elementos químicos (totais) estimados com base na análise da cinza de caldeira avaliada e nas doses aplicadas no ensaio.

Variáveis analisadas	Doses de cinza – t ha ⁻¹			
	10	20	40	80
	----- kg ha ⁻¹ -----			
MO	107,0	214,00	428,00	856,00
N	10,40	20,80	41,60	83,20
P	30,20	60,40	120,80	241,60
K	119,49	238,98	477,96	955,92
Ca	260,18	520,36	1040,72	2081,44
Mg	4,76	9,52	19,04	38,08
S	6,17	12,34	24,68	49,36
Na	10,02	20,04	40,08	80,16
Cr	0,35	0,70	1,40	2,80
As	0,06	0,12	0,24	0,48
Cu	0,34	0,68	1,36	2,72
Fe	154,82	309,64	619,28	1238,56
Mn	11,56	23,12	46,24	92,48
B	0,60	1,20	2,40	4,80
Zn	0,48	0,96	1,92	3,84

* quantidade estimada com base nos valores constantes no laudo em anexo.

Efeito da cinza sobre a altura, diâmetro do caule e biomassa seca produzida

À exceção do observado na matéria seca de raiz no Cambissolo, não houve 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* em nível de 5 % de probabilidade (Tabela 4). 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 *Pinus* demoram em expressar respostas em crescimento ao aporte de nutrientes.

Tabela 4. Efeito* de doses (em base seca) 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*, avaliados em Cambissolo (cam) e Latossolo (lat), coletados em Piraí do Sul, PR.

Dose t ha ⁻¹	Crescimento relativo - %						Massa seca - g			
	h		dc		r		pa		Total	
	cam	lat	cam	lat	cam	lat	cam	lat	cam	Lat
0	8,03	7,80	175,0	169,40	7,07 ab	5,32	8,21	6,30	15,29	17,92
10	9,91	11,90	136,5	144,20	6,70 ab	5,54	7,24	7,05	13,95	16,95
20	14,40	18,00	113,9	147,40	4,66 b	5,98	6,64	7,48	11,30	20,95
40	15,70	8,60	162,2	150,90	7,02 ab	6,42	7,97	7,24	14,98	20,91
80	11,20	14,00	154,5	131,10	7,46 a	5,71	7,87	6,15	15,32	18,01

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

Efeito da cinza sobre características químicas do solo

Na Tabela 5, são apresentados os resultados analíticos dos efeitos das doses de cinza, em propriedades químicas dos solos avaliados, em cada camada. Pode-se observar nessa tabela que a aplicação de cinza não alterou o teor de C orgânico, em ambos os solos estudados. A relação Ca/Mg foi alterada apenas na camada 10 cm a 20 cm no Cambissolo, enquanto a relação (Ca + Mg)/K não foi alterada no Cambissolo e influenciada nas camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm no Latossolo. Por sua vez, a relação Ca/K não foi alterada no Cambissolo, enquanto no Latossolo houve alterações na relação nas camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm. Os efeitos foram variados nas demais características, dependendo do solo, da camada e da própria característica considerada.

A cinza aplicada apresentou capacidade de redução da acidez, avaliada pelo pH em CaCl₂, além de promover a elevação dos teores de cátions básicos, resultando na elevação da saturação por bases na CTC, cujos valores atingidos, principalmente no Cambissolo, foram significativamente maiores a partir da aplicação de 10 t ha⁻¹, até a maior dose. Esse efeito foi observado em todas as camadas e em ambos os solos estudados (Tabela 5).

No geral, a principal preocupação em relação à aplicação do resíduo estudado, além das questões relacionadas com elementos tóxicos eventualmente presentes, refere-se aos desequilíbrios que o mesmo pode provocar nas relações entre os nutrientes do solo, reduzindo a disponibilidade dos mesmos para as plantas. Sabe-se que com a elevação do pH em níveis próximos à neutralidade, pode-se induzir, entre outros efeitos, a deficiências de micronutrientes (MALAVOLTA et al., 1989), como são os casos do Mn e do Zn, por exemplo. No caso deste estudo, a exceção da dose 80 t ha⁻¹ (o valor do pH em CaCl₂ foi de 5,9, na camada de 0 a 10 cm, o que equivale a aproximadamente 6,4 a 6,6 do pH em água no Latossolo), este problema não foi observado (Tabela 5).

Embora não existam informações para *Pinus*, no caso da cultura da soja, valores para saturação de K na CTC do solo superiores a 2,5 % são desejáveis, por proporcionar condições para aumentar a absorção de K (COSTA & OLIVEIRA, 2001). No caso deste estudo, no Cambissolo, este valor foi superado com a aplicação de 10 t ha⁻¹, nas camadas de 0 a 10 cm, e nas camadas 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm, a partir da aplicação de 20 t ha⁻¹. No Latossolo, o valor de 2,5 % foi superado com a aplicação de 10 t ha⁻¹, em todas as camadas avaliadas (Figura 2).

Com relação à saturação por bases (V), a faixa considerada adequada para *Pinus* é de 40 % a 50 % (SANTOS et al., 2007). No Cambissolo, para a camada de 0 a 10 cm, a dose necessária para atingir o limite inferior foi de 15,3 t ha⁻¹, e para atingir o limite superior foi de 21,3 t ha⁻¹. Considerando o valor médio da saturação por bases das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, as quantidades de cinza necessárias para atingir 40 % e 50 % do valor de V seriam, respectivamente, de 15 t ha⁻¹ e 22 t ha⁻¹, valores similares quando se considera apenas a camada 0 a 10 cm (Figura 3). No Latossolo, a saturação por bases na camada 0 a 10 cm, sem aplicação do resíduo, foi de 50,6 % e com a aplicação da maior dose de 83,4 % - diferença de 32,8 %. O efeito da aplicação de cinza foi mais pronunciado no Cambissolo - V = 12,4 % na menor dose e V = 82,9 % na maior dose - diferença de 70,5 % (Tabela 6), indicando que maiores cuidados devem ser observados quando da aplicação de cinza de biomassa vegetal em solos com características semelhantes às apresentadas pelo Cambissolo

estudado. No caso do Latossolo, quando se considera a média das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, a dose estimada para elevar a saturação por bases a 50 % é de 7,7 t ha⁻¹ (Figura 3).

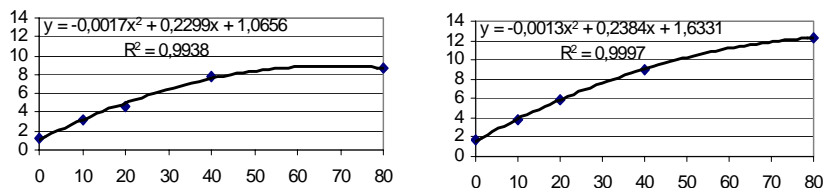


Figura 2. Relação entre doses de cinza - t ha⁻¹ (eixo "x") e saturação de K - % (eixo "y") na CTC, na camada 0 a 10 cm, nos solos Cambissolo (esquerda) e Latossolo (direita).

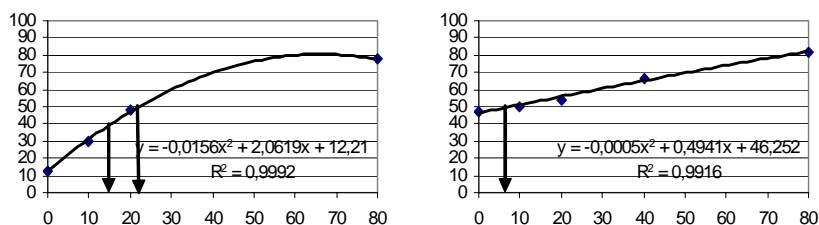


Figura 3. Relação entre doses de cinza - t ha⁻¹ (eixo "x") e a saturação por bases - V% (eixo "y") na camada 0 a 20 cm, no Cambissolo (esquerda) e no Latossolo (direita). Valor de pH médio das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm.

Com relação ao P, o efeito foi significativo para as doses estudadas nas três camadas e nos dois solos (Tabela 5). Os altos teores observados na maior dose, nos dois solos e nas camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, podem resultar em desequilíbrios na absorção de Zn, especialmente em situações onde o teor de Zn é baixo (CORRÊA et al., 2002).

Na relação Ca/Mg, o efeito da aplicação foi significativo apenas na camada 10 cm a 20 cm no Cambissolo, indicando que, no geral, a aplicação da cinza não resultou em alterações importantes nessa característica. O mesmo pode ser considerado para a relação (Ca + Mg)/K (Tabela 5).

Na relação $K / \sqrt{Ca + Mg}$, não se observou efeito significativo apenas na camada mais profunda do Latossolo (Tabela 5). Para *Pinus*, não existem referências de valores adequados para a razão dessa relação. No caso da cultura da soja, existem indicações de respostas para a aplicação de K

quando a relação é inferior a 0,13. No intervalo entre 0,13 e 0,20, a resposta à aplicação de K é provável e, quando a relação é maior que 0,20, a probabilidade de resposta é baixa.

Como esperado, a aplicação da cinza resultou em efeitos mais pronunciados na camada mais superficial, uma vez que a cinza foi incorporada nessa camada (Tabela 6). Embora existam alterações nos teores de nutrientes em camadas mais profundas, o acréscimo pode ser atribuído ao deslocamento de componentes do resíduo juntamente com a água aplicada na irrigação e durante o procedimento de percolação a qual foi submetida.

Efeito da cinza de biomassa na lixiviação de elementos químicos.

Uma importante preocupação em estudos sobre a aplicação de cinza de caldeira em áreas de produção, agrícola ou florestal, é quanto à presença de elementos químicos tóxicos, oriundos da queima de biomassa tratada com conservantes, principalmente o CCA e o CCB. 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.

Tabela 5. Resultados de teste de Tukey (5 %) aplicado em propriedades químicas de amostras de solo coletadas nas camadas C1 - 0 - 10 cm, C2 - 10 cm a 20 cm e C3 - 20 cm a 30 cm do Cambissolo (cam) e do Latossolo (lat) submetidos a doses de cinza de caldeira. Efeito de doses em cada camada. Médias de quatro repetições.

Solo	Camada	Dose t ha ⁻¹	pH CaCl ₂	Ca	Mg	Al	K	H+Al	t	T	V	C	P	K ₁	Ca/K	Ca/Mg	(Ca+ Mg)/K	K/ $\sqrt{Ca+Mg}$
cam	C1	0	4,2 e	0,4 d	0,3 d	0,7 a	0,1 d	6,3 a	0,9 c	7,2 c	12,4 d	25,0	5,4 d	1,2 c	4,9	1,4	8,6	0,10 c
		10	4,4 d	1,6 cd	0,7 cd	0,5 b	0,2 cd	5,3 b	2,6 c	7,9 bc	32,6 c	23,9	9,0 cd	3,1 bc	6,4	2,5	9,3	0,16 c
		20	4,7 c	3,1 bc	1,5 b	0,3 c	0,4 c	4,4 c	5,1 b	9,5 b	53,2 b	24,5	14,5 bc	4,6 b	7,1	2,2	10,4	0,21 c
		40	5,0 b	3,8 b	1,4 bc	0,0 d	0,7 b	3,4 d	6,0 b	9,4 bc	62,4 b	22,8	18,4 b	7,9 a	5,9	2,6	7,8	0,34 ab
		80	5,5 a	7,3 a	2,5 a	0,0 d	1,2 a	2,3 e	11,1 a	13,5 a	82,9 a	22,6	37,4 a	8,7 a	6,4	3,1	8,6	0,37 a
	C2	0	4,2 c	0,6 c	0,2 c	0,8 a	0,1 c	6,4 a	1,0 c	7,4 c	13,0 d	24,3	5,4 b	1,3 c	6,5	2,7 ab	9,0	0,10 c
		10	4,2 c	1,2 bc	0,9 b	0,6 ab	0,2 c	6,1 ab	2,3 bc	8,4 bc	27,8 c	24,2	7,0 b	2,3 c	6,3	1,4 b	11,0	0,14 c
		20	4,4 bc	2,6 b	1,0 b	0,4 bc	0,3 bc	5,4 bc	4,0 b	9,4 b	42,5 b	24,5	9,4 b	3,4 bc	8,4	2,6 ab	11,7	0,17 bc
		40	4,6 b	2,4 b	1,0 b	0,3 c	0,5 b	4,7 c	4,0 b	8,7 bc	45,4 b	22,9	10,8 b	5,8 ab	4,9	2,5 ab	6,9	0,28 ab
		80	5,0 a	5,8 a	2,0 a	0,0 d	1,0 a	3,3 d	8,9 a	12,2 a	72,4 a	25,1	27,9 a	7,9 a	6,3	2,9 a	8,4	0,35 a
	C3	0	4,2 b	0,6 b	0,3 b	0,7 a	0,1 b	6,4 a	1,0 b	7,4 c	13,4 c	23,6	6,7 b	1,5 b	5,1	2,4	7,7	0,12 b
		10	4,1 b	0,8 b	0,5 b	0,7 a	0,2 b	6,6 a	1,5 b	8,1 bc	18,0 bc	25,1	6,7 b	2,0 b	5,1	2,3	7,9	0,14 b
20		4,2 ab	1,5 b	0,7 b	0,7 a	0,2 b	6,2 ab	2,4 b	8,6 bc	28,4 b	24,8	6,7 b	2,5 b	6,8	2,8	10,2	0,15 ab	
40		4,1 b	1,6 b	0,7 ab	0,6 a	0,2 b	6,8 a	2,5 b	9,2 b	27,1 bc	26,2	4,9 b	2,2 b	7,7	2,3	11,5	0,14 b	
80		4,4 a	3,6 a	1,6 a	0,3 b	0,5 a	5,2 b	5,7 a	11,0 a	51,4 a	22,1	16,0 a	4,5 a	7,5	2,3	10,7	0,22 a	
lat	C1	0	4,4 d	3,8 abc	1,6 ab	0,3 a	0,2 d	5,4 a	5,6 bc	11,0 a	50,6 c	13,8	2,1 c	1,7 d	21,2 a	2,7	30,3 a	0,1 d
		10	4,7 c	3,0 bc	1,3 b	0,2 b	0,3 cd	4,3 b	4,7 c	9,0 b	52,3 c	19,9	2,8 c	3,8 cd	8,9 b	2,6	12,7 b	0,2 cd
		20	4,9 c	2,5 c	1,8 ab	0,0 c	0,5 c	3,6 c	4,9 c	8,5 b	57,6 c	17,6	6,1 bc	5,9 c	5,0 b	1,4	8,6 b	0,2 c
		40	5,3 b	4,1 ab	1,9 ab	0,0 c	0,9 b	2,6 d	7,0 b	9,6 ab	72,5 b	17,8	14,1 b	9,0 b	4,7 b	2,2	6,9 b	0,4 b
		80	5,9 a	4,9 a	2,6 a	0,0 c	1,3 a	1,8 e	9,0 a	10,8 a	83,4 a	18,2	27,8 a	12,3 a	3,7 b	2,0	5,8 b	0,5 a
	C2	0	4,4 d	3,1 ab	1,1 b	0,3 a	0,2 d	5,4 a	4,5 b	9,9	44,0 c	18,0	2,2 c	2,3 d	14,2 a	2,7	19,3 a	0,1 d
		10	4,5 cd	2,7 b	1,5 b	0,3 a	0,4 cd	4,9 b	4,6 b	9,5	48,6 c	17,2	2,1 c	3,8 cd	7,7 ab	2,0	11,7 ab	0,2 cd
		20	4,7 c	2,5 b	1,4 b	0,1 a	0,6 bc	4,4 b	4,6 b	9,0	51,0 bc	17,0	4,5 bc	6,2 bc	5,0 b	1,9	7,6 b	0,3 bc
		40	4,9 b	3,5 ab	1,3 b	0,1 a	0,8 b	3,6 c	5,7 b	9,3	60,9 b	16,5	8,4 b	8,1 b	4,5 b	2,9	6,3 b	0,3 ab
		80	5,7 a	4,8 a	2,4 a	0,0 b	1,2 a	2,2 d	8,6 a	10,7	80,7 a	18,4	21,1 a	11,7 a	3,8 b	2,1	5,8 b	0,5 a
	C3	0	4,4 b	2,0	1,0	0,3 a	0,4 b	5,2 a	3,5	8,7	40,0 b	17,1	2,1 b	4,2	6,2	1,9	9,3	0,2
		10	4,5 ab	2,7	1,3	0,2 ab	0,4 b	5,2 a	4,5	9,6	46,4 ab	17,3	1,3 b	4,5	6,8	2,1	10,0	0,2
20		4,4 b	2,1	0,9	0,2 b	0,4 b	5,2 a	3,7	8,6	39,9 b	18,4	2,8 b	4,4	5,5	2,7	7,9	0,2	
40		4,5 ab	2,6	0,8	0,2 ab	0,5 ab	5,1 ab	4,0	9,1	44,1 ab	15,6	3,0 ab	5,7	5,1	3,6	6,7	0,3	
80		4,6 a	3,1	1,2	0,2 b	0,6 a	4,6 b	5,0	9,6	51,7 a	15,0	5,2 a	6,5	5,0	2,7	6,9	0,3	

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 6. Resultados de teste de Tukey (5 %) aplicado em características químicas de amostras de solo coletadas nas camadas C1 - 0 a 10 cm, C2 - 10 cm a 20 cm e C3 - 20 cm a 30 cm do Cambissolo (cam) e do Latossolo (lat) submetidos a doses de cinza de caldeira. Médias de quatro repetições.

Solo	Dose	Cam.	pH CaCl ₂	Ca	Mg	Al	K	H+Al	t	T	V	C	P	K <u>1</u>	Ca/K	Ca/Mg	(Ca+ Mg)/K	$K/\sqrt{Ca+Mg}$
	t ha ⁻¹	cm	----- cmol _c dm ⁻³ -----						-----		-- % --	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	%	-	-	-	-
cam	0	C1	4,2	0,4	0,3	0,74	0,1	6,3	0,89	7,2	12,4	25,0	5,4	1,2	4,9	1,4	8,6	0,1
		C2	4,2	0,6	0,2	0,76	0,1	6,4	0,96	7,4	13,0	24,3	5,4	1,3	6,6	2,7	9,0	0,1
		C3	4,2	0,6	0,3	0,74	0,1	6,4	1,0	7,4	13,4	23,6	6,7	1,5	5,1	2,4	7,7	0,1
	10	C1	4,4	1,6 a	0,7	0,5 b	0,25 a	5,3 c	2,6 a	7,9 b	32,6 a	23,9	9,0	3,1 a	6,4	2,5	9,3	0,2
		C2	4,2	1,2 b	0,9	0,6 ab	0,19 b	6,1 b	2,3 a	8,4 a	27,8 b	24,2	7,0	2,3 b	6,3	1,4	11,0	0,1
		C3	4,1	0,8 c	0,5	0,7 a	0,16 b	6,6 a	1,5 b	8,1 ab	18,0 c	25,1	6,7	2,0 b	5,1	2,3	7,9	0,1
	20	C1	4,7 a	3,1 a	1,5	0,3 c	0,4 a	4,4 b	5,1 a	9,5	53,2 a	24,5	14,5 a	4,6	7,1	2,2	10,4	0,21 a
		C2	4,4 b	2,6 ab	1,04	0,4 b	0,3 b	5,4 a	4,0 a	9,4	42,5 b	24,5	9,4 ab	3,4	8,4	2,6	11,7	0,17 ab
		C3	4,2 c	1,5 b	0,7	0,7 a	0,2 c	5,7 a	2,4 b	8,6	28,4 c	24,8	6,7 b	2,5	6,8	2,8	10,2	0,15 b
	40	C1	5,0 a	3,8	1,4 a	0,0 c	0,7 a	3,4 c	6,0 a	9,4	62,4 a	22,8 b	18,4 a	7,9 a	5,7	2,6	7,8	0,34 a
		C2	4,6 b	2,4	1,0 ab	0,3 b	0,5 b	4,9 b	4,0 ab	8,7	45,4 b	22,9 ab	10,8 ab	5,8 ab	4,9	2,5	6,9	0,28 ab
		C3	4,1 c	1,6	0,7 b	0,6 a	0,2 c	6,7 a	2,5 b	9,2	27,1 c	26,2 a	4,9 b	2,2 b	7,7	2,3	11,5	0,14 b
80	C1	5,5 a	7,3 a	2,5	0,0 b	1,2 a	2,3 b	11,1 a	13,5 a	82,9 a	22,6	37,4 a	8,7 a	6,4	3,1	8,6	0,37 a	
	C2	5,0 b	5,8 a	1,97	0,1 b	1,0 a	3,3 b	8,9 a	12,2 ab	72,4 a	25,1	27,9 ab	7,9 a	6,3	2,9	8,4	0,35 ab	
	C3	4,4 c	3,6 b	1,6	0,3 a	0,5 b	5,2 a	5,7 b	11,0 b	51,4 b	22,1	16,0 b	4,5 b	7,5	2,3	10,7	0,22 b	
lat	0	C1	4,4	3,8	1,6	0,3	0,2 b	5,4	5,6	11,0	50,6	13,8	2,1	1,7 b	21,2	2,7	30,3 a	0,1 b
		C2	4,4	3,1	1,1	0,3	0,2 b	5,4	4,5	9,9	44,0	18,0	2,2	2,3 b	14,2	2,7	19,3 ab	0,1 b
		C3	4,4	2,0	1,0	0,3	0,4 a	5,2	3,5	8,7	40,0	17,1	2,1	4,2 a	6,2	1,9	9,3 b	0,2 a
	10	C1	4,7 a	3,0	1,3	0,2	0,3	4,3 b	4,7	9,0	52,3	19,9 a	2,8 a	3,8	8,9	2,6	12,7	0,2
		C2	4,5 b	2,7	1,5	0,3	0,3	4,9 a	4,6	9,5	48,6	17,2 b	2,1 a	3,8	7,7	2,0	11,7	0,2
		C3	4,5 b	2,7	1,3	0,2	0,4	5,0 a	4,5	9,6	46,4	17,3 ab	1,3 b	4,5	6,8	2,1	10,0	0,2
	20	C1	4,9 a	2,5	1,8 a	0,0 c	0,5	3,6 c	4,9 a	8,5	57,6 a	17,6	6,1 a	5,9	5,0	1,4	8,6	0,2
		C2	4,7 b	2,5	1,4 ab	0,1 b	0,6	4,4 b	4,6 a	9,0	51,0 b	17,0	4,5 ab	6,2	5,0	1,9	7,6	0,3
		C3	4,4 c	2,1	0,9 b	0,2 a	0,4	5,2 a	3,5 b	8,6	39,9 c	18,4	2,8 b	4,4	5,5	2,7	7,9	0,2
	40	C1	5,3 a	4,1 a	1,9 a	0,0 c	0,9 a	2,6 c	7,0 a	9,6	72,5 a	17,8	14,1 a	9,0 a	4,7	2,2	6,9	0,4 a
		C2	4,9 b	3,5 ab	1,3 ab	0,1 b	0,8 a	3,6 b	5,7 b	9,3	60,9 b	16,5	8,4 b	8,1 a	4,5	2,9	6,3	0,35 ab
		C3	4,5 c	2,6 b	0,8 b	0,2 a	0,5 b	5,1 a	4,0 c	9,1	44,1 c	15,6	3,0 c	5,7 b	5,1	3,6	6,7	0,28 b
80	C1	5,9 a	4,9 a	2,6 a	0,0 b	1,3 a	1,8 b	9,0 a	10,8 a	83,4 a	18,2	27,8 a	12,3 a	3,7	2,0	5,8	0,5 a	
	C2	5,7 a	4,8 a	2,4 a	0,0 b	1,2 a	2,1 b	8,6 a	10,7 a	80,7 a	18,4	21,1 a	11,7 a	3,8	2,1	5,8	0,5 a	
	C3	4,6 b	3,1 b	1,2 b	0,2 a	0,6 b	4,6 a	5,0 b	9,6 b	51,7 b	15,0	5,2 b	6,5 b	5,0	2,7	6,9	0,3 b	

1 - saturação de K da T; 2 - relação Ca/K; 3 - relação Ca/K, 4 relação (Ca+Mg)/K; 5 - relação entre K e a raiz quadrada de Ca+Mg, * valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente (Tukey 5%); ausência de letras indica igualdade entre os valores pelo mesmo teste.

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 dos tratamentos com dose 0 e 80 t ha⁻¹ da cinza aplicada. Conforme pode ser observado na Tabela 7, embora tenha sido detectada a presença desses elementos na cinza utilizada, 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 7.

Tabela 7. Valor máximo permitido (VMP) e teores de As, Cu, Cr total e B (mg L⁻¹) em amostras de água percolada nos tratamentos 0 e 80 t ha⁻¹, nos solos estudados. Doses em base seca.

Elemento	Dose - t ha ⁻¹				VMP ¹
	0		80		
	Cambissolo	Latossolo	Cambissolo	Latossolo	
As *	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01
Cu *	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	2
Cr total *	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
B **	0	0	0,01	0	***

* Determinado conforme Clesceri et al. (1998)

** determinado conforme Tedesco et al., (1985)

*** não representa risco para a saúde (BRASIL, 2005)

¹ conforme Brasil (2005)

Na Tabela 8, são apresentados os demais resultados da análise realizada na água percolada nos vasos. É possível que os menores valores de capacidade de troca de cátions do solo arenoso tenham contribuído para os aumentos observados, nos teores de K e Na, na água percolada.

Com base nos valores constantes na Tabela 8, estimou-se que o potencial de saída do sistema solo-planta, de um nutriente cuja concentração na água

percolada seja de 1 mg L⁻¹ provocada por 1 mm de chuva, é de 10 g ha⁻¹, indicando um potencial importante de perdas de nutrientes.

Tabela 8. Resultados analíticos (mg L⁻¹) de água percolada nas diferentes doses de cinza (t ha⁻¹), determinado conforme Tedesco et al., (1985), no Cambissolo (camb) e no Latossolo (lat).

Solo	Doses	P	K	Na	Ca	Mg	B
camb	0	0,17	0,98 c	7,65 b	41,18 a	17,36 a	0
	10	0,17	1,20 bc	10,00 b	42,13 a	16,38 a	0
	20	0,06	1,00 c	9,05 b	16,21 b	8,08 b	0
	40	0,13	2,03 ab	13,80 a	40,60 a	17,13 a	0
	80	0,16	2,35 a	16,33 a	48,44 a	20,63 a	0
lat	0	0,02 b	2,13	12,28	20,50	5,67	0,01
	10	0,05 b	1,80	8,88	23,68	5,81	0,01
	20	0,14 a	1,93	10,15	35,94	10,35	0
	40	0,17 a	2,70	14,23	35,96	10,87	0
	80	0,06 b	1,43	8,65	29,96	8,61	0

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

Na Tabela 9, são apresentados os valores de “p” para o teste “t”, em que são comparados os efeitos das doses de cinza de biomassa vegetal sobre algumas propriedades químicas dos solos, nas três camadas de solo avaliadas. As informações contidas na tabela permitem inferir que os efeitos da cinza nas doses aplicadas variam entre os dois solos estudados, em algumas das características avaliadas, como são os casos do pH, V%, Ca e T. Isso indica a necessidade de considerar as características distintas entre os dois solos, pois elas induzem a diferenças nas respostas.

Tabela 9. Valores de p para teste t para efeito de doses de cinza de caldeira (t ha⁻¹), nas camadas (cm) analisadas quimicamente nos dois solos estudados. Doses em base seca.

Dose	Camada	pH	V%	Ca	Mg	Al	K	P	CTC
10	0 a 10	0,021	0,000	0,022	0,100	0,064	1,000	0,059	0,008
	10 a 20	0,042	0,032	0,094	0,135	0,167	0,032	0,124	0,091
	20 a 30	0,037	0,588	0,279	0,757	0,168	0,612	0,341	0,675
20	0 a 10	0,295	0,000	0,001	0,143	0,003	0,000	0,064	0,001
	10 a 20	0,225	0,002	0,060	0,084	0,120	0,374	0,180	0,015
	20 a 30	0,450	0,169	0,139	0,107	0,655	0,259	0,690	0,086
40	0 a 10	0,018	0,003	0,001	0,143	0,003	0,659	0,064	0,001
	10 a 20	0,359	0,029	0,257	0,026	0,106	0,086	0,670	0,161
	20 a 30	0,156	0,093	0,387	0,042	0,923	0,369	0,223	0,051
80	0 a 10	0,428	0,000	0,000	0,074	0,000	0,690	0,277	0,002
	10 a 20	0,014	0,009	0,007	0,294	0,013	0,262	0,538	0,015
	20 a 30	0,441	0,004	0,004	0,024	0,100	0,343	0,166	0,007

Obs. Valores de p e" a 0,050 indicam diferenças estatisticamente significativas entre os dois solos estudados para as características avaliadas em nível de 5 % de probabilidade.

Conclusões

- a cinza de biomassa florestal estudada não apresentou em sua composição elementos químicos com teores com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas;
- os resultados das análises químicas do solo e da água de percolação, obtidos no experimento de casa-de-vegetação, indicaram que a cinza de caldeira não apresenta risco aparente de contaminação do solo ou da água de lixiviação;
- as doses de cinza aplicadas não alteraram o crescimento das mudas de *Pinus taeda*;
- a aplicação de 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://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2008.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998. Paginação irregular.

CORRÊA, F. L. de O.; SPIZA, C. A. S.; CARVALHO, J. G. de; MENDONÇA, V. Fósforo e zinco no desenvolvimento de mudas de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 793-796, 2002.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. de. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas: culturas: soja-milho-trigo-algodão-feijão**. 2. ed. rev. Campo Mourão: COAMO; Cascavel: COODETEC, 2001. 93 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.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1989. 201 p.

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.

SANTOS, A. F. dos; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; AUER, C. G.; BELLOTE, A. F. J. Importância sócio econômica e ambiental. **Revista da Madeira**, ano 18, n. 107, set. 2007. Disponível em <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=107&id=1133>. Acesso em: 25 fev. 2008.

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).