

Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*

Effects of the application of ash and pulp residues on the soil and on the growth of *Eucalyptus grandis*

C.D.O.: 232.322.4

ANTONIO F.J. BELLOTE, CARLOS A. FERREIRA, HELTON DAMIN DA SILVA, GUILHERME DE C. ANDRADE

Embrapa/CNPFFlorestas, Caixa Postal, 319-Colombo/PR-CEP 83411-000, Brasil.

SUMMARY

This paper addresses changes in growth and nutritional status of the *Eucalyptus grandis*, and physical and chemical properties of soils after the application of pulp residues and ash. Soil porosity, water retention, and pH as well as P, K, Mg, Ca, and Na contents of the soil were enhanced. To determine the optimal utilization of pulp residues and ash, future studies should focus on proper manipulation, mineralization conditions, and methods needed for maintaining a nutrient balance in these substances.

RESUMEN

El trabajo fue desarrollado con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de residuos de la industria de celulosa y papel (ceniza y residuo de celulosa) en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el crecimiento y estado nutricional de los árboles. Los resultados obtenidos permitieron las siguientes conclusiones y recomendaciones: el uso de los residuos industriales (ceniza de la caldera y residuo de la celulosa) más fertilizantes minerales permiten incrementos expresivos en el volumen de la madera; la aplicación de 50 toneladas/ha, de estos materiales, mejoran significativamente la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua, el pH y los contenidos de P, K Mg, Ca y Na del suelo. La utilización óptima de estos materiales requiere, por lo tanto, estudios sobre la manipulación correcta, período y condiciones de mineralización del compuesto, así como la necesidad de balancear su contenido de nutrientes minerales.

INTRODUCCION

Los suelos utilizados en reforestaciones con *Eucalyptus* spp. en Brasil, con raras excepciones, son ácidos, pobres en nutrientes minerales, distróficos, álicos y con baja capacidad de retención de agua. Consecuentemente, son considerados suelos de baja fertilidad para las actividades forestales

Entre las opciones para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos suelos, el uso de residuos industriales, notablemente el residuo de la celulosa y de la ceniza de las calderas, muestra una alternativa de gran potencial. Además de presentarse disponibles en gran cantidad, su

utilización en plantaciones forestales es favorecida por ser un desecho industrial no deseable, común a todas las empresas del sector de papel y celulosa. Se estima que la industria de papel y celulosa en Brasil produce aproximadamente 1.000 toneladas de residuos de celulosa por día. Tomando como base el trabajo de Moro (1994), el cual indica que 10 t/ha es la cantidad que proporciona el mejor crecimiento del eucalipto, la cantidad total producida, por día, podría ser suficiente para aplicación en 100 ha/día.

Entre los beneficios para los suelos, que pueden ser obtenidos con la aplicación de residuos de celulosa y cenizas de las calderas, se incluyen la elevación del pH, la reducción de los niveles de

aluminio, aumento en los contenidos de determinados nutrientes minerales, mejora de las propiedades físicas (Gloria, 1992), aumento de la saturación de bases (Bellote *et al.*, 1994), aumento de la biomasa microbiana y de la actividad biológica en el proceso de reciclaje de los nutrientes minerales (Guerrini y Moro, 1994; Bellote *et al.*, 1994).

Sin embargo, debe ser recordado que los residuos industriales pueden contener constituyentes minerales y orgánicos en calidad y cantidad no deseables. De esta forma, el uso inadecuado puede ocasionar perjuicios para el medio ambiente. La evaluación de estos riesgos potenciales, como la manipulación adecuada de los residuos, deben ser considerados con la misma prioridad con que son evaluados los efectos benéficos del bosque y la relación costo-beneficio de su aplicación (Gloria, 1992).

El presente trabajo fue desarrollado con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de residuos de la industria de celulosa (ceniza de caldera y residuo de celulosa) en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el crecimiento y en el estado nutricional del *Eucalyptus grandis*.

MATERIAL Y METODOS

Los residuos de celulosa utilizados en la experimentación son materiales provenientes del sistema de efluentes de la industria de celulosa, retenido en los tamices antes de llegar a las lagunas de decantación y sometido a mineralización natural por un período mínimo de 3 años o más. La ceniza es el residuo resultante de la quema de madera en las calderas, para la producción de energía. En el cuadro 1 son presentados los resultados medios de los análisis químicos y físicos de estos residuos, de acuerdo con Guerrini y Moro (1994).

Los datos utilizados en este trabajo fueron colectados de un experimento de niveles de aplicación de ceniza y residuo en *E. grandis* con 3 años de edad. Ese experimento fue implantado en octubre/1989, en el Horto Santa Terezinha, municipio de Mogi-Guaçu, localizado a 47°05' de latitud Sur y 22°08' de longitud Oeste. En todos los tratamientos fueron utilizados abonos químicos en la cantidad de 250 g/árbol de la formulación (N-P-K) 10-20-10. El suelo fue clasificado como Latossol Rojo Amarillo (Orthic Ferralsol de acuerdo con la clasificación de la FAO).

CUADRO 1

Análisis químico y físico de los residuos de celulosa y ceniza de caldera.

Chemical and physical analysis of pulp residues and ash.

Evaluaciones	Ceniza	Residuo
pH (CaCl ₂)	8.80	7.50
Carbono orgánico (%)	4.47	3.30
Materia orgánica total (%)	21.50	13.60
Materia orgánica compuesta (%)	8.05	6.00
Residuo mineral total (%)	7.82	48.50
N total (%)	0.15	0.34
P ₂ O ₅ total (%)	0.26	0.09
K ₂ O total (%)	0.54	0.07
Ca total (%)	1.84	1.55
Mg total (%)	0.16	0.09
Retención de agua-1/3 atm (%)	206.80	65.10
Densidad aparente (g/cm ³)	0.20	0.63
Humedad natural (%)	3.90	13.90
Relación C/N (C org./N total)	30/1	25/1

Fueron seleccionados cinco tratamientos: 50 toneladas de residuo más fertilización química (50RES); 10 toneladas de residuo más fertilización química (10RES); 50 toneladas de ceniza más fertilización química (50CIN); 10 toneladas de ceniza más fertilización química (10CIN) y fertilización química (TEST). El tratamiento solamente con aplicación de fertilización química fue considerado como testigo en este trabajo.

Para las evaluaciones del crecimiento de los árboles fueron medidos, en 3 repeticiones, la altura y el diámetro de los árboles a la altura del pecho, cada parcela. Las evaluaciones nutricionales fueron realizadas en muestras de hojas colectadas de acuerdo con metodología propuesta por Bellote (1990). En el análisis químico de las muestras de hojas se utilizó extracción total de los nutrientes minerales de acuerdo con la metodología propuesta por Sarruge y Haag (1974).

Los análisis químicos del suelo fueron realizados en muestras obtenidas en los diferentes tratamientos y en las siguientes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm y de 10-15 cm. Cada tratamiento, compuesto por tres repeticiones, fue representado por una muestra compuesta por cuatro submuestras. Los análisis químicos del suelo fueron hechos de acuerdo con la metodología propuesta por Embrapa (1979).

Las evaluaciones de la capacidad de retención de agua del suelo fueron realizadas en muestras de suelo con estructura no deformada, colectadas con la utilización de anillos volumétricos semejantes a los extractores de Uhland, obtenidas a 5-10 cm de profundidad. La determinación de la macro y microporosidad de los suelos fue realizada con el uso de la mesa de tensión, descrita por Oliveira (1968). Cada tratamiento, compuesto por 3 repeticiones, fue sometido a diferentes potenciales de presión. Una segunda muestra fue extraída seis meses después, para confirmación de los datos inicialmente obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

El tratamiento que presentó el menor crecimiento en altura, después de 3 años, fue aquel en que se utilizó sólo abono químico (cuadro 2). Donde fueron aplicadas 10 toneladas de residuo de celulosa y 10 toneladas de ceniza el crecimiento fue inferior a aquel obtenido con 50 toneladas de ceniza y 50 toneladas de residuos. Tres años después de aplicados estos materiales en el suelo, el tratamiento que recibió 50 toneladas de residuo presentó un incremento en volumen de madera 83% superior al del tratamiento con solamente abono químico, y el tratamiento con 50 toneladas de ceniza presentó incremento en el volumen de 55%. Efectos positivos semejantes con residuo y ceniza en la productividad de *E. grandis* son presentados por Guerrini y Moro (1994) y Moro (1994).

Con respecto a la nutrición de las plantas no

fueron observadas variaciones significativas, excepto para el potasio y el calcio. El potasio presentó una tendencia de aumento en la concentración en las hojas con el aumento en las cantidades de ceniza y de residuo utilizados. El calcio, por ser un nutriente presente en gran cantidad en el material utilizado (cuadro 1), fue el nutriente que presentó las mayores variaciones en sus contenidos en las hojas. De cualquier forma, los efectos en la nutrición de los árboles serían más expresivos al considerar las cantidades totales de nutrientes absorbidos por la biomasa total producida.

Aunque los resultados presentados no indican relación directa entre la producción de madera y los contenidos de nutrientes, el efecto en el suelo fue bastante significativo para todas las variables estudiadas, conforme lo presenta el cuadro 3. Observamos variación elevada entre repeticiones debido, probablemente, a la distribución heterogénea de la ceniza y del residuo durante la instalación del experimento. Esto muestra que, por más cuidadosa que haya sido la distribución de ceniza y residuo en el suelo, ésta no fue suficientemente homogénea.

Conforme muestra el cuadro 3, para todos los elementos químicos y características estudiadas, los tratamientos con ceniza y residuos presentaron valores más favorables en el desarrollo de los árboles principalmente en los primeros diez centímetros de profundidad del suelo. Se observa una disminución en los contenidos de nutrientes a medida que aumenta la profundidad del muestreo. El aumento en los contenidos de las bases cambiables K, Ca en la solución del suelo resultaron en el

CUADRO 2

Altura de los árboles, incremento medio anual (I.M.A.) y contenido de nutrientes minerales en las hojas de *E. grandis* en los diferentes tratamientos.

Average and annual increment in height, and mineral nutrient content of leaves of *E. grandis* for different treatments.

Trat.	Altura (m)	I.M.A. m ³ /ha	mg/g de M.S.				
			N	P	K	Ca	Mg
50RES	20.5	81.6	18.5 a	1.1 a	6.0 b	10.2 a	1.8 a
50CIN	19.5	69.1	17.9 a	0.9 a	8.2 a	6.8 ab	1.8 a
10RES	17.4	54.6	15.8 a	1.0 a	5.2 b	7.4 ab	1.5 a
10CIN	17.1	42.9	18.4 a	1.0 a	5.4 b	5.5 b	1.9 a
TEST	16.4	44.5	19.1 a	1.0 a	4.7 b	3.6 b	1.8 a

Promedios seguidos por una misma letra no difieren significativamente ($P < 0.05$) en cada variable.

CUADRO 3

Análisis químico del suelo de los diferentes tratamientos (TRAT) en las tres profundidades estudiadas.
Chemical analysis of soil in different treatments and three depths in the soil profile.

Trat.	pH	Al	Ca	Mg	P	K	V
	H ₂ O	meq/100 cm ³			mg/kg		%
profundidad (0-5 cm)							
50RES	4.7 ab	0.4 b	1.9 a	0.6 b	9 ab	30 a	40 a
50CIN	4.9 bd	0.2 b	2.8 a	1.2 a	12 a	32 a	56 a
10RES	4.2 bc	1.2 a	0.7 b	0.4 b	3 b	20 a	16 b
10CIN	4.1 c	1.2 a	0.6 b	0.3 b	5 ab	22 a	14 b
TEST	3.8 c	1.9 a	0.2 b	0.2 b	3 b	19 a	6 b
profundidad (5-10 cm)							
50RES	4.6 a	0.7 b	1.1 a	0.4 a	2 a	23 a	29 a
50CIN	4.0 b	1.6 a	0.4 b	0.5 a	2 a	16 a	14 b
10RES	4.2 ab	1.2 ab	0.3 c	0.4 a	2 a	13 a	12 b
10CIN	4.0 b	1.3 a	0.2 d	0.1 a	1 a	13 a	6 b
TEST	4.0 b	1.5 a	0.2 d	0.2 a	1 a	13 a	6 b
profundidad (10-15 cm)							
50RES	4.2 a	0.9 c	0.5 a	0.6 a	1 a	17 a	20 a
50CIN	4.0 ab	1.6 a	0.2 a	0.5 a	1 a	16 a	10 a
10RES	4.2 a	1.1 abc	0.2 a	0.3 a	1 a	13 a	9 a
10CIN	4.0 ab	1.1 abc	0.1 a	0.1 a	1 a	12 a	5 b
TEST	3.9 b	1.4 ab	0.1 a	0.3 a	1 a	11 a	8 b

Promedios seguidos por una misma letra no difieren significativamente ($p < 0,05$) en cada variable.

aumento del pH, reducción de los contenidos de Al y, consecuentemente, en el aumento del valor de la saturación de bases (V%). Guerrini y Moro (1994), utilizando ceniza de caldera y residuo de celulosa, también encontraron aumentos significativos en los parámetros anteriores y aun en los contenidos de P, Ca y Mg.

Los incrementos en los contenidos de P, K, Ca y Mg del suelo observados en los tratamientos en que se utilizaron dosis altas de ceniza de caldera y residuo de celulosa, explican en parte, las mayores productividades obtenidas por estos tratamientos. Es necesario agregar que el testigo (TEST), en este experimento, es el abono químico recomendado en base a los resultados obtenidos después de amplia experimentación, y que en este caso se muestra muy abajo de los tratamientos que incluyen residuos y ceniza.

En el cuadro 4 son presentados los resultados

de contenido de agua y la porosidad del suelo. El contenido de agua del suelo es evaluado considerando el porcentaje de agua en relación a su volumen total. Los poros del suelo son ocupados por el agua y por el aire. Cuando disminuye el contenido de agua en el suelo, primeramente son vaciados los macroporos y posteriormente los microporos.

Conforme muestra el cuadro 4, la saturación total de agua en el suelo (tensión de 0.00 atm) es, en la práctica, la misma para todos los tratamientos. En la medida en que aumenta el potencial de agua en el suelo (de 0.00 hasta 3.00 atm), disminuye el contenido de agua en todos los tratamientos, pero no en forma homogénea. Cuanto mayor es la cantidad de residuo y ceniza aplicada en el suelo, mayor es el contenido de agua retenida en las tensiones mayores.

En la condición de capacidad de campo (0.30

CUADRO 4

Contenidos de agua en el suelo y porosidad del suelo en los tratamientos con residuo de celulosa, ceniza de la caldera y fertilización química.

Soil water content and porosity for treatments with ash, pulp residues and chemical fertilization.

Trat.	Tension (en atmósferas)						Porosidad (en %)		
	0.00	0.01	0.06	0.30	1.00	3.00	macro	micro	total
50RES	52.2	42.1	34.3	32.4	25.6	22.3	17.9	34.3	52.2
50CIN	56.2	44.3	36.0	33.1	27.2	22.8	16.0	33.5	49.5
10RES	52.3	43.0	31.1	27.1	23.4	20.2	21.2	31.2	52.3
10CIN	51.1	40.4	29.4	25.1	21.3	17.5	21.6	29.4	51.0
TEST	52.5	41.4	31.5	28.9	22.1	18.6	21.0	31.6	52.5

atm) se observó una mayor retención de agua para los tratamientos 50RES y 50CIN, justamente aquellos donde fueron aplicadas las mayores cantidades de residuo y ceniza. Para los suelos de esos tratamientos hubo un aumento en la capacidad de retención de agua de 12% y 14%, respectivamente, en relación al testigo (TEST).

La diferencia en la capacidad de retención de agua del suelo es más pronunciada cuando el potencial del agua llega a 3.00 atm. En esta situación, son observados aumentos de 20 y 25% en la capacidad de retención de agua del suelo para los tratamientos 50RES y 50CIN, comparados con el tratamiento que solamente recibió abono químico (TEST). Es importante decir que la capacidad del suelo en retener agua está directamente relacionada con la cantidad de microporos existentes, los cuales, a su vez, son dependientes de las fracciones coloidales del suelo. Así, para aumentar la capacidad del suelo en retener agua, es necesario adicionarle partículas coloidales, para elevar su superficie específica e incrementar la cantidad de microporos.

El aumento en la capacidad de retención de agua del suelo puede ser mejor entendido con los datos del cuadro 4. Aunque la porosidad total del suelo permanece prácticamente inalterada, independientemente del tipo de tratamiento, la relación macro-microporos es alterada dentro de cada tratamiento. El tratamiento que solamente recibió abono químico mantuvo una microporosidad de 60%, los tratamientos con 50 toneladas de residuo de celulosa (50RES) y 50 toneladas de ceniza de caldera (50CIN) presentaron microporosidad de 66% y 68%, o sea, un aumento de 10% y 13%, respectivamente.

El aumento causado en los contenidos de P, K, Ca y Mg, principalmente en los primeros 10 cm del suelo (cuadro 3), asociado a una elevación de la capacidad de retención de agua y de la microporosidad de estos suelos (cuadro 4), son sin duda alguna los mayores responsables por los aumentos en la productividad de madera.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten las siguientes conclusiones:

- Aplicaciones del orden de 50 t/ha de residuo de celulosa y de ceniza de las calderas mejoran significativamente la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua, el pH y los contenidos de P, K, Mg y Ca del suelo.
- Las alteraciones más significativas en el suelo, para todas las propiedades químicas y físicas estudiadas, ocurren en la profundidad de 0-5 cm.
- El uso de residuos industriales, tanto la ceniza de las calderas como el residuo de la celulosa, asociados con la fertilización química en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, en suelos de baja fertilidad natural, permite aumentos expresivos de volumen maderable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Champion Papel e Celulose, por el apoyo y permiso en coleccionar muestras de suelos y de los árboles en las plantaciones de su propiedad.

BIBLIOGRAFIA

- BELLOTE, A.F.J. 1990. "Naehrelementversorgung und Wuchsleistung von geduengten *Eucalyptus grandis* Plantagen im Cerrado von São Paulo (Brasilien)", *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Freiburg, 26: 1-159.
- BELLOTE, A.F.J., C.A. FERREIRA, H.D. SILVA, G.C. ANDRADE, L. MORO. 1994. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira residuo de celulose em plantios de *E. grandis*. En: Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas, 1994, Botucatu. *Anais. Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP*, Botucatu, pp. 167-187.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. 1979. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.
- GUERRINI, I.A., L. MORO. 1994. "Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: Efeito no solo e na planta". En: Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas, 1994, Botucatu, *Anais. Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP*, Botucatu, p. 189-215.
- GLORIA, N.A. 1992. "Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica". En: Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções, 1992, Botucatu. *Anais. Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP*, Botucatu, pp. 129-148.
- MORO, L. 1994. *Utilização da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de E. grandis*. Dissertação de Mestrado apresentada a E.S.A. "Luiz de Queiroz"-Univ. de São Paulo, Piracicaba, 53 pp.
- OLIVEIRA, L.B. de. 1968. "Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada", *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 3: 197-200.
- SARRUGE, J.R., H.P. HAAG. 1974. *Análises químicas em plantas*. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo, Piracicaba, *Editora Livroceres*, Piracicaba, 56 pp.