

TRABALHO DE PESQUISA / RESEARCH PAPER

**EFEITOS DA "CINZA" DE BIOMASSA FLORESTAL SOBRE A  
PRODUTIVIDADE DE POVOAMENTOS PUROS DE *Eucalyptus*  
*grandis* E AVALIAÇÃO FINANCEIRA**

Luiz Moro<sup>1</sup>

José Leonardo de Moraes Gonçalves<sup>2</sup>

**ABSTRACT** - In order to evaluate the utilization of ash - produced from burnt biomass forest - as a nutrient source to ***Eucalyptus grandis*** plantations, an experiment was established in the municipal district of Casa Branca -SP. The soil type at the experimental area has been classified as Red Yellowish Latossol, medium texture, dystrophic, under a Cwa climate classification, according to Köppen. Treatments consisted on the following mineral fertilizer and ash application: control, without application of ash and fertilizer; the application of 417 Kg ha<sup>-1</sup> NPK 10.20.10 in the planting hole; application of increasing amounts of ash 5,10,15, 20 and 25 t ha<sup>-1</sup>, casting distributed and superficially incorporated up to 10 cm with light disking, during planting operation. Experiment design was the randomized block, composed of 7 treatments and 3 repetitions. Trees were planted in a 3,0 x 2,0 m spacing. After 51, 63 and 79 months from planting time, Diameter at Breast Height (DBH-cm), average height (m), site index (m), timber volume (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and planting failure percentage were evaluated: Ash application resulted in a considerable wood productivity increase. For example, for the treatment with best response, 20t ha<sup>-1</sup>, productivity increase reached 49% more than control. In a broad way, the treatments which received ash application were superior to those which fertilizer was applied. Using the equation  $Y=193,5398 + 7,6614X - 0,1678X^2$  ( $R^2=0,78$ ;  $P=0,05$ ), where Y is wood solid volume with bark (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and X refers to number of ash dose applied, and using variable costs related with ash application, it was estimated that 19,6 t ha<sup>-1</sup> should be most economic ash dose to be applied for a considered ash transportation distance of 65 Km. About 21 cm<sup>3</sup> of wood (bark considered) should be necessary of offset related costs of ash application, that is 25% of the productivity increase obtained from this dose application, which was 85, 7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of wood.

**RESUMO** - Com o intuito de avaliar o efeito da cinza de biomassa florestal sobre o crescimento de povoamentos florestais de ***Eucalyptus grandis***, assim como fazer uma avaliação financeira dos custos e benefícios advindos da aplicação desse resíduo industrial, foi instalado um experimento no município de Casa Branca - SP. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo, textura média, distrófico e o clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. Os tratamentos constituíram-se das seguintes aplicações de fertilizante mineral e cinza: testemunha, sem aplicação de cinza e fertilizante;

<sup>1</sup> Gerente de Reflorestamento/Pesquisa de logging da CHAMFLORA AGRÍCOLA LTDA - Caixa Postal 176 - 13840.000 - Mogi-Guaçu, S.P.

<sup>2</sup> Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Caixa Postal 9 - 13400-970 - Piracicaba, S.P.

aplicação de 417 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 10:20:10 na cova de plantio e aplicações de doses crescentes de cinza 5, 10, 15, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup>, distribuídas a lanço e incorporadas superficialmente até 10 cm de profundidade com grade leve, por ocasião do plantio. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, composto de 7 tratamentos e 3 repetições. As árvores foram plantadas no espaçamento de 3,0 x 2,0 m. Aos 51, 63 e 79 meses após o plantio, avaliaram-se o diâmetro médio à altura do peito -DAP- (cm), a altura média (m), o índice de sítio (m), o volume sólido de madeira com casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e a percentagem de falhas. A aplicação de cinza resultou em consideráveis incrementos de produtividade. Por exemplo, na dose que houve a maior resposta, 20t ha<sup>-1</sup>, o incremento de produtividade foi 49% superior ao da testemunha. Por intermédio da equação  $Y=193,5398 + 7,6614X - 0,1678X^2$  ( $R^2=0,78$ ;  $P=0,05$ ), onde Y é o volume sólido de madeira com casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e X é a dose de cinza aplicada, e pelos custos variáveis relativos à aplicação da cinza, estimou-se que a dose mais econômica de cinza seria igual a 19,6 t ha<sup>-1</sup> para uma distância de transporte desse resíduo igual a; 65 km. Cerca de 21 m<sup>3</sup> de madeira com casca seriam necessários para pagar as despesas envolvidas com a aplicação da cinza, ou seja, 25% do ganho de produção de madeira obtida com a aplicação desta dose, que foi de 85,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de madeira, resultando num ganho líquido de 64,4 m<sup>3</sup> de madeira.

## INTRODUÇÃO

O grande crescimento das indústrias de celulose, papel e siderurgia tem provocado, nas últimas décadas, a geração de elevadas quantidades de resíduos sólidos e líquidos, os quais têm-se constituído em constante preocupação econômica e ambiental. Dentre os resíduos, a Cinza de Biomassa Florestal tem sido destaque tanto pelas quantidades produzidas como pelas suas características físicas e químicas, que têm levado muitos pesquisadores e silvicultores a acreditar no seu potencial como fonte de nutrientes para as árvores e, também, como agente capaz de melhorar as condições físicas e químicas do solo.

Cinza de Biomassa Florestal é um resíduo industrial, sólido, proveniente da combustão incompleta e variável de madeira e casca, com o intuito de produzir energia térmica para a produção de vapor. Este resíduo também é conhecido como Moinha de Carvão, dadas as suas características físicas e químicas. O vapor produzido é usado para geração de energia elétrica e para aquecimentos diversos nas indústrias de celulose, papel e siderurgia, principalmente. Por comodidade de redação, a seguir será utilizado apenas o termo cinza para se referir a esse resíduo industrial.

A utilização desse resíduo torna-se mais promissora, ao se considerar que a maioria dos solos atualmente em uso nos plantios com fins industriais foi, originalmente, ocupada por vegetação de cerrados, de baixa fertilidade natural. Além disso, deve-se considerar também a crescente elevação dos custos de aquisição e aplicação de fertilizantes minerais, que levam os silvicultores a procurar meios alternativos de manejo florestal, com intuito de reduzir despesas.

Os efeitos da cinza na produtividade florestal foram verificados por PEREIRA et al. (1982), que mostraram que a aplicação de 500, 1500 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de cinza em covas de **Eucalyptus saligna** proporcionou ganhos semelhantes ao tratamento com 100 g por cova de NPK 10-28-6 e foram significativamente superiores à testemunha absoluta. STAPE; ZANI (1990), estudando o efeito de diferentes adubações de manutenção realizadas aos 2 anos e 10 meses após o plantio em plantações de *Eucalyptus grandis* realizadas sobre Areias Quartzosas, mostraram que, aos 5 anos e meio, a produção da testemunha era da ordem de 38m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ao passo que, para as parcelas que receberam 5t ha<sup>-1</sup> de cinza, a

produção foi de  $86\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  e  $69\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  para o tratamento que recebeu apenas fertilização nitrogenada e potássica. Também DINIZ (1982), PEREIRA et al. (1982) e STAPE; BALLONI (1988), mostraram que a cinza de biomassa florestal usada na implantação de florestas de **Eucalyptus** é altamente benéfica nas dosagens de 3 a  $6\text{t ha}^{-1}$ , com grandes acréscimos de produção.

Neste contexto, foram objetivos do presente trabalho analisar o efeito da cinza sobre o crescimento de povoamentos florestais formados com **E. grandis**, bem como fazer uma avaliação financeira dos custos e benefícios advindos da aplicação desse resíduo industrial.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma área da Champion Papel e Celulose Ltda., localizada na Fazenda Boa Vista, município de Casa Branca - SP, cujas posições geográficas são: latitude  $21^{\circ}54'S$ , longitude  $47^{\circ}02'W$  e altitude 670 m. O solo da área experimental foi classificado por RANZANI (1972) como sendo um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, profundo, bem drenado e de classe textural barro-argila-arenosa. O relevo local é do tipo plano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura do mês mais frio (julho) é inferior a  $18^{\circ}\text{C}$ , a do mês mais quente (janeiro) superior a  $22^{\circ}\text{C}$  e o total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm. A precipitação média anual é de aproximadamente de 1.360 mm, concentrada nos meses de outubro a abril. A deficiência hídrica, que ocorre entre os meses de maio a setembro, foi estimada como sendo igual a 40 mm pelo método de THORNTHWAITE; MA THER (1955), admitindo-se 125 mm de capacidade de armazenamento de água em 200 cm de solo.

O plantio do experimento foi realizado com mudas de **Eucalyptus grandis** Hill Ex Maiden obtidas a partir de sementes provenientes de uma área de produção de sementes da Champion Papel e Celulose Ltda., sendo o material genético básico originalmente coletado na região de Coff's Harbour, Austrália.

Os tratamentos constituíram-se das seguintes aplicações de fertilizante mineral e cinza de biomassa florestal:

- testemunha, sem aplicação de fertilizante e/ou cinza;
- aplicação de  $417 \text{Kg ha}^{-1}$  de NPK 10:20:10 na cova de plantio;
- tratamentos com doses de 5, 10, 15, 20 e  $25 \text{t ha}^{-1}$  de cinza, que foram aplicadas a lanço e incorporadas superficialmente (0-10 cm) com grade leve, por ocasião do plantio.

As TABELAS 1 e 2 apresentam a composição química da cinza de biomassa florestal e as quantidades totais de nutrientes aplicadas através dos diferentes tratamentos.

TABELA 1. Características químicas\* da cinza de biomassa florestal utilizada na experimentação.

Umidade perdida a 60-65°C (%)	68,99
Umidade perdida entre 65 e 110°C	1,69
Umidade total (%)	70,68
Carbono orgânico (%)	4,47
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	11,94
Resíduo mineral insolúvel (%)	1,19
Resíduo mineral solúvel (%)	6,63
Resíduo mineral total (%)	7,82
Matéria orgânica compostável (%)	8,05
Matéria orgânica resistente (%)	13,45
Matéria orgânica total (combustão) (%)	21,50
Nitrogênio total (%)	0,15
Fósforo total (P) (%)	0,11
Potássio total (K) (%)	0,45
Cálcio total (Ca) (%)	1,84
Magnésio total (Mg) (%)	0,16
Enxofre total (S) (%)	0,05
Relação C/N (C total e N total)	80/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	30/1

\* As determinações feitas seguiram a metodologia apresentada por KIEHL (1985). Para as análises, foi coletada uma amostra composta de cinza após sua retirada da caldeira. Os altos índices de umidade se devem à aplicação de água usada para resfriar a cinza"

TABELA 2. Quantidades totais \* de nutrientes aplicados em função das doses aplicadas de adubo (10:20:10) e de cinza de biomassa florestal nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Nutriente (kg ha <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
417 kg ha <sup>-1</sup> de 10:20:10	41,7	36,4	34,6	15,8	-	40,9
5 t ha <sup>-1</sup> de cinza	7,5	5,5	22,5	92,0	8,0	2,5
10 t ha <sup>-1</sup> de cinza	15,0	11,0	45,0	184,0	16,0	5,0
15 t ha <sup>-1</sup> de cinza	22,5	16,5	67,5	276,0	24,0	7,5
20 t ha <sup>-1</sup> de cinza	30,0	22,0	90,0	368,0	32,0	10,0
25 t ha <sup>-1</sup> de cinza	37,5	27,5	112,5	460,0	40,0	12,5

\* Para o cálculo das quantidades de nutrientes aplicados via cinza de biomassa florestal, foram utilizados os dados de análise apresentados na TABELA 1.

A implantação do experimento foi realizada em abril de 1985, sendo as mudas plantadas num espaçamento 3,0 x 2,0 m. As parcelas experimentais foram constituídas por 81 plantas, ou seja, 9 linhas com 9 plantas cada. Somente as 25 plantas centrais foram consideradas nas avaliações dendrométricas e as demais, deixadas como bordadura dupla. Considerando uma área de 6m<sup>2</sup> por planta, cada parcela ocupou uma área de 486m<sup>2</sup>, o que

totalizou 10.206m<sup>2</sup> de área experimental. O delineamento experimental utilizado seguiu o esquema de blocos casualizados, com 7 tratamentos e 3 repetições.

Dentre os parâmetros dendrométricos, avaliaram-se o crescimento em altura, a sobrevivência das árvores e o crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP). Estes parâmetros foram medidos em julho de 1989, julho de 1990 e em novembro de 1991, quando as árvores estavam com 51, 63 e 79 meses de idade, respectivamente.

Para se estimar o fator de forma e peso seco de folhas, galhos, madeira e cascas das árvores, foram abatidas, em novembro de 1991, nos tratamentos que receberam 417 Kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante mineral, 0, 10 e 20t ha<sup>-1</sup> de cinza, 3 árvores médias por parcela para cada estrato de copa: dominantes, codominantes e dominadas. Para a realização dessas determinações, separaram-se inicialmente, os componentes folhas, galhos e tronco de cada árvore, os quais tiveram seus pesos de material fresco determinados. Para se estimar o peso de material seco desses componentes em cada árvore, separadamente, foram feitas amostragens. A amostra de folhas, cerca de 200 g, foi obtida aleatoriamente após a homogeneização de todas as folhas da copa. Os galhos de cada árvore, incluindo a parte do caule com menos de três centímetros de diâmetro, foram agrupados num feixe e, da parte intermediária, obteve-se uma amostra (cerca de 500g) representativa do conjunto. As amostras de folhas e galhos foram pesadas e, após 72 horas de secagem a 65°C (até peso constante), tiveram seus pesos de material seco determinados. Conhecendo-se o peso total de folhas e galhos frescos e o peso de material fresco e seco das respectivas amostras, foi possível estimar-se o peso do material seco total desses componentes para cada árvore abatida.

Com a finalidade de estimar o peso seco da casca e madeira, foram adotados os seguintes procedimentos: nas árvores abatidas, tomou-se o diâmetro com e sem casca a cada intervalo fixo de 2 metros até a altura comercial total, ou seja, da base até o diâmetro de 3 cm. De posse destas medições, calculou-se o volume com e sem casca e, pela diferença, obteve-se o volume de casca de cada árvore. Para cálculo do volume de madeira com e sem casca utilizou-se a fórmula de Smallian.

A partir de discos do tronco (cerca de 2 cm de espessura) das posições base, meio e topo, determinou-se a densidade do lenho e da casca. A metodologia utilizada para a determinação da densidade foi a da balança hidrostática, segundo, a Norma ABCP M 14/70, apresentada pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (1974).

O índice de sítio (IS), no presente estudo, foi padronizado como o valor médio de altura das cinco árvores dominantes de cada parcela, nas idades de 51, 63 e 79 meses. Em virtude das diferenças entre a idade real e a idade considerada para a determinação do IS, utilizou-se a equação de COUTO (1990):

$$IS = \text{Exp} ((\text{LnMHDOM}) + 1,640863 \times (1/\text{Idade real} - 1/7))$$

onde: MHDOM é a média da altura das árvores dominantes e a Idade real é igual à idade em que se efetuaram as medições da altura das árvores (4,2; 5,2 e 6,6 anos).

Essa equação foi utilizada por ser oriunda de sítios florestais localizados em áreas com características ambientais e índices de produtividade semelhantes às do presente estudo.

Os ganhos de produção e o lucro advindos da aplicação da cinza são os fatores básicos para a tomada de decisão em utilizar ou não a cinza como insumo de produção. De acordo com o princípio dos incrementos decrescentes, ou seja, de que a aplicação de quantidades crescentes de fertilizantes correspondem a aumentos cada vez menores de

produção, a dose mais econômica corresponde àquela quantidade de cinza acima da qual o valor do aumento de produção não mais supera o custo da aplicação da cinza.

Nessa linha de raciocínio, para o cálculo da dose mais econômica, após testar diversos modelos de regressão que pudessem ajustar-se à relação da produção com as doses de cinza aplicadas, decidiu-se utilizar um trinômio do 2º grau, pelo bom ajuste conseguido e pelas facilidades de manipulação matemática oferecidas por esse modelo. Na equação ajustada 1 o volume sólido de madeira com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ) produzido aos 79 meses de idade foi a variável dependente (Y) e a dose de cinza aplicada ( $t ha^{-1}$ ) a variável independente (X). Para o cálculo da dose mais econômica, igualou-se a derivada da equação ajustada à relação de custos unitários de aplicação de cinza e valor de produto da seguinte forma:

$$dy/dx = a_1 + 2a_2X = c/v \text{ (eq. 1)}$$

onde:  $dy/dx$  é a derivada do trinômio do 2º grau,  $a_1$  e  $a_2$  são os coeficientes do trinômio do 2º grau,  $c$  é o custo unitário de aplicação da cinza (custo do transporte mais custo para espalhar cinza no campo) e  $v$  é o valor do produto.

Dada a grande dificuldade de expressar conceitos econômicos em termos de moeda corrente, sobretudo devido aos altos índices inflacionários e da falta de indexadores permanentes, os cálculos econômicos relativos à aplicação da cinza foram efetuados com base nas relações de troca, ou seja, os custos e os benefícios foram tomados em termos de  $m^3$  de volumes sólido de madeira com casca.

A dose mais econômica,  $X'$ , foi, então, calculada por:

$$X' = a_1 - (c/v) / 2X (-a_2) \text{ (eq.2)}$$

Para se determinar qual o Raio Econômico (RE) de aplicação da cinza (distância em que os custos de aplicação da cinza se igualam aos ganhos econômicos advindos do aumento de produção proporcionados pela aplicação de uma determinada dose de cinza, considerando-se os custos de transporte e de aplicação) a seguinte equação foi utilizada:

$$\text{Ganho de Produção (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)} = \text{Custos de Aplicação da Cinza (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}$$

$$(P_{CC} - P_{SC}) = (D \times C_{AP}) + (RE \times D \times C_T)$$

onde:  $P_{CC}$  é a produção de madeira conseguida com a aplicação de cinza ( $m^3 ha^{-1}$ ),  $P_{SC}$  é a produção de madeira conseguida sem a aplicação da cinza ( $m^3 ha^{-1}$ ),  $D$  é a dose de cinza aplicada ( $t ha^{-1}$ ),  $C_{AP}$  é o custo de aplicação da cinza no campo ( $m^3 t^{-1}$ ),  $RE$  é o Raio Econômico (km) e  $C_T$  é o custo de transporte ( $m^3 t^{-1} km^{-1}$ ), considerando ida e volta.

Donde conclui-se que:

$$RE = [(P_{CC} - P_{SC}) - (D \times C_{AP})] / (D \times C_T) \text{ (eq.3)}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento em Altura, DAP, Volume, Percentagem de Falhas e índice de Sítio

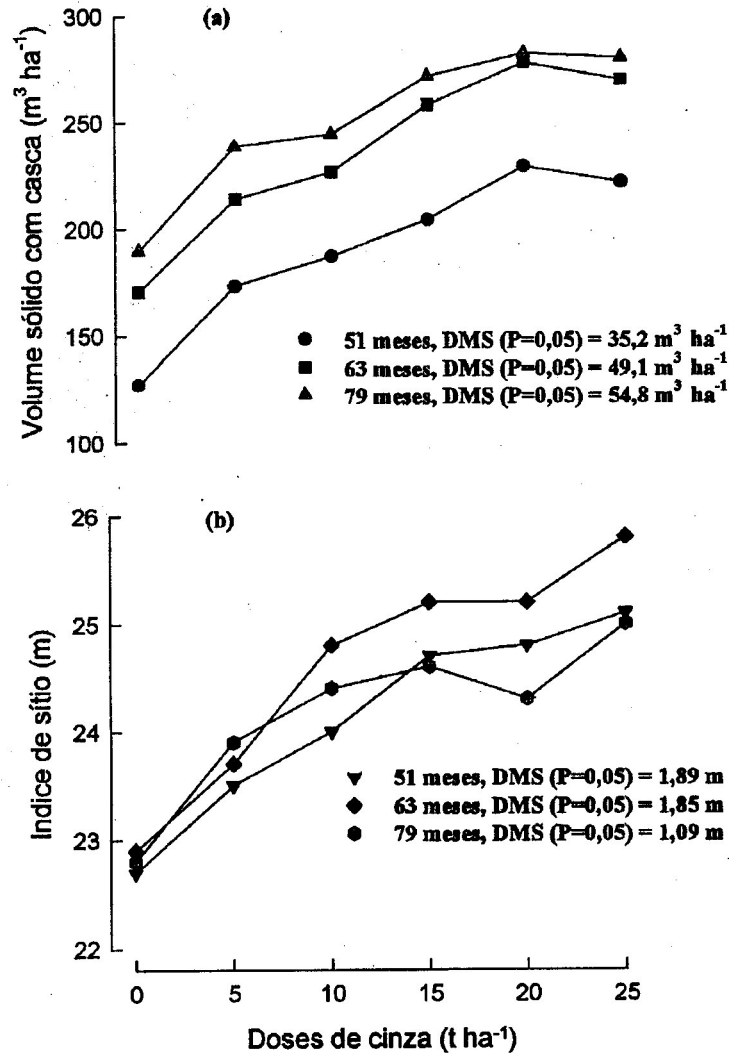
As doses de cinza aplicadas influenciaram de forma significativa o DAP, o volume sólido de madeira com casca e o índice de sítio nas idades de 51,63 e 79 meses e, a altura, nas idades de 51 e 63 meses (TABELA 3 e FIGURA 1). Com relação às aplicações de adubo químico, foram observados ganhos significativos apenas na característica volume sólido de madeira aos 51 meses. Quanto à sobrevivência das árvores, não foram detectados efeitos significativos em função dos tratamentos aplicados, evidenciando-se que a cinza, nas dosagens utilizadas, não prejudicou o estabelecimento da árvores.

Verificou-se que os ganhos de produção devido à aplicação de cinza, em termos de volume sólido de madeira com casca aos 79 meses de idade, variaram de 25,7% para a menor dose (5 t ha<sup>-1</sup>) a 48,6% para a dose de 20 t ha<sup>-1</sup>. A resposta ao fertilizante químico, 15,3% de ganho de produção, não foi estatisticamente significativa (TABELA 3). BARROS et al. (1982), PEREIRA et al. (1982) e STAPE; ZANI (1990), também observaram ganhos de produção iguais ou maiores aos obtidos neste estudo para plantações de eucaliptos.

**TABELA 3. Avaliações dendrométricas dos diversos tratamentos, 79 meses após o plantio.**

Tratamentos	Sobrevivência (%)	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Índice de Sítio (m)	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Ganho <sup>(1)</sup> (%)
Testemunha	86,7	20,1	11,9	22,8	189,7	-
417 kg ha <sup>-1</sup> de 10-20-10	84,7	20,3	12,6	23,6	218,7	15,3
5 t ha <sup>-1</sup> de cinza	85,3	21,4	13,1	23,9	238,5	25,7
10 t ha <sup>-1</sup> de cinza	85,3	21,4	13,2	24,4	244,2	28,7
15 t ha <sup>-1</sup> de cinza	88,0	21,8	13,5	24,6	271,3	43,0
20 t ha <sup>-1</sup> de cinza	89,3	22,1	13,9	24,3	281,3	48,6
25 t ha <sup>-1</sup> de cinza	84,7	22,0	13,9	25,0	279,7	47,4
Média	86,3	21,3	13,1	24,8	246,2	-
CV experimental (%)	6,16	3,5	4,3	1,6	7,8	-
DMS (P = 0,05)	15,3	2,1	1,6	1,1	54,8	-

(1) Ganho (%) = ((Vol. sólido com casca do tratamento em questão/Vol. sólido com casca da testemunha) x 100) - 100



**FIGURA 1. (a) Efeito de cinza sobre o incremento médio de volume sólido de madeira com casca; (b) Efeito de cinza sobre o incremento médio do índice de sítio.**

As diferenças entre tratamentos e ganhos de produção em função da época analisada, foram significativamente maiores nas idades mais jovens do povoamento, para todas as características dendrométricas. Verificou-se que as respostas aos tratamentos aplicados (em termos percentuais) caíram drasticamente com o passar do tempo, muito embora os ganhos obtidos, em volume de madeira com casca entre a primeira e a última avaliação, mantiveram-se praticamente estáveis. Exemplificando, aos 51 meses de idade, a dose  $25 t ha^{-1}$  de cinza foi responsável por um ganho de produtividade equivalente a 73,5% ( $93,7 m^3 ha^{-1}$ ), o qual caiu para 47,4% ( $90 m^3 ha^{-1}$ ) aos 79 meses de idade, relativamente à testemunha.

A causa mais provável para essas reduções de resposta deve estar ligada à competitividade entre árvores pelos fatores de crescimento: luz, água e nutrientes, que fica mais acirrada com o crescimento das árvores. Dessa forma, com a idade, há mudança radical nas condições ambientais do povoamento, com efeitos secundários sobre o

crescimento das árvores relativamente àqueles dos tratamentos experimentais aplicados. Além disso, com grande implicação sobre estas constatações, são os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica de nutrientes que se instauram nos povoamentos florestais, principalmente depois do fechamento das copas. No caso do presente estudo, o processo de fechamento das copas já estava bastante adiantado aos 12 meses de idade pós-plantio. Com a intensificação da ciclagem de nutrientes, as árvores ficam mais independentes do suprimento de nutrientes provido pelo solo, portanto, assume papel preponderante sobre o crescimento das mesmas a dinâmica de nutrientes que ocorre internamente nas árvores e no ciclo árvore-serapilheira-solo-árvore, a qual tem efeitos alheios àqueles provenientes dos tratamentos aplicados. Fundamentalmente, com a expansão do sistema radicular e com a intensificação da ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, houve uma ampliação da eficiência de obtenção e utilização dos nutrientes pelas árvores, promovendo uma amenização dos efeitos provenientes de cada tratamento. Outrossim, dada a grande permeabilidade do solo da área experimental em estudo, a lixiviação de nutrientes deve ter sido considerável, provavelmente com maior intensidade, nos tratamentos que receberam aplicações de doses mais elevadas de cinza.

### Produção de Metal Seco

A avaliação do crescimento em peso dos componentes aéreos dos tratamentos testemunha, 417 kg 10-20-10, 10 t ha<sup>-1</sup> de cinza e 20 t ha<sup>-1</sup> de cinza, aos 79 meses de idade, relevou que, tanto a adubação química como a aplicação de cinza, tiveram grande efeito sobre a formação de folhas, galhos, casca e lenho (TABELA 4).

**TABELA 4. Peso de material seco acumulado (t ha<sup>-1</sup>) e percentagem de distribuição dos componentes das árvores aos 79 meses de idade para alguns tratamentos.**

Tratamentos	Folha		Galho		Casca		Lenho		Total tha <sup>-1</sup>
	tha <sup>-1</sup>	%	tha <sup>-1</sup>	%	tha <sup>-1</sup>	%	tha <sup>-1</sup>	%	
Testemunha	3,0	3,2	4,5	4,8	10,0	10,7	76,4	81,3	93,9
417 kg ha <sup>-1</sup> de 10:20:10	4,0	3,5	6,4	5,6	14,4	12,6	89,7	78,3	114,6
10 t ha <sup>-1</sup> de cinza	4,2	3,1	8,4	6,1	14,8	10,8	109,6	80,0	137,1
20 t ha <sup>-1</sup> de cinza	4,0	3,0	6,7	4,9	14,8	10,9	110,6	81,2	136,1
Média	3,8		6,5		13,5		96,6		120,4
CV experimental (%)	6,9		17,0		12,4		8,1		7,7
DMS (P=0,05)	0,75		3,1		4,7		24,1		26,16

A percentagem média das folhas, galhos, casca e lenho foi de 3,2; 5,3; 11,2 e 80,2, respectivamente. Os efeitos do adubo e da cinza sobre a produção dos componentes folhas, galhos e casca foram quantitativamente, bem próximos. A grande diferença de efeito destes insumos ficou refletida na formação do lenho das árvores. Assim, o adubo foi responsável por um ganho de peso de lenho equivalente a 22%, enquanto a aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de cinza aumentou o peso de lenho em 46%, ambos relativamente à testemunha.

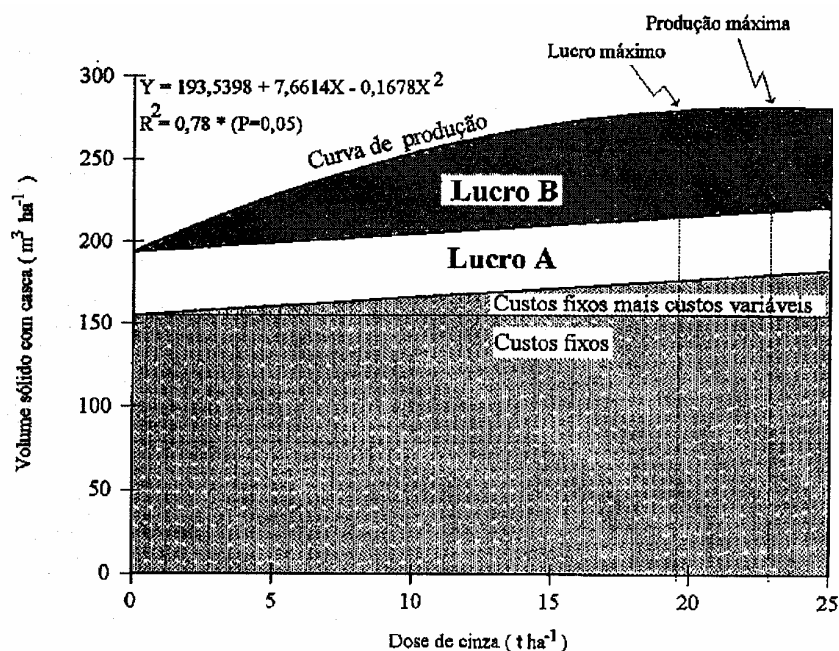
Quando se compara ganho percentual de peso com ganho percentual de volume de lenho, para a mesma idade, verifica-se que, relativamente, os ganhos de peso foram superiores aos de volume (TABELAS 3 e 4). Curiosamente, o aumento de 10 para 20t ha<sup>-1</sup>

de cinza proporcionou um ganho no volume de madeira equivalente a 15% (TABELA 3) e, em termos de ganho de peso (TABELA 4), nenhum efeito foi observado.

Considerando o objetivo final da produção de madeira, que é a conversão desta em celulose, constata-se pelo presente estudo que apenas a avaliação da característica volume de madeira, como é convencionalmente feitos nos inventários florestais, não seria suficiente para se avaliar a quantidade de celulose existente num determinado povoamento florestal; particularmente quando é utilizada a aplicação de cinza como insumo de produção. Estudos mais específicos sobre este assunto precisam ser conduzidos para aferir a conveniência de se utilizar as características volume de madeira e/ou peso de madeira como parâmetros para a realização de inventários florestais.

### Custos e Benefícios Advindos da Aplicação da Cinza

O trinômio do 2º grau  $Y = 193,5398 + 7,6614X - 0,1678X^2$ , que relaciona a produção de madeira com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ), Y com as doses de cinza aplicadas ( $t ha^{-1}$ ), X foi o que melhor se ajustou aos dados, com um  $R^2 = 0,78$  ( $P = 0,05$ ). Igualando a derivada desta equação ao zero, obteve-se a dose de cinza que proporcionou a produção máxima de madeira ( $m^3 ha^{-1}$ ). Segundo os cálculos feitos, a dose equivalente a  $22,8t ha^{-1}$  de cinza seria responsável pela produção máxima de madeira,  $281 m^3 ha^{-1}$  (FIGURA 2).



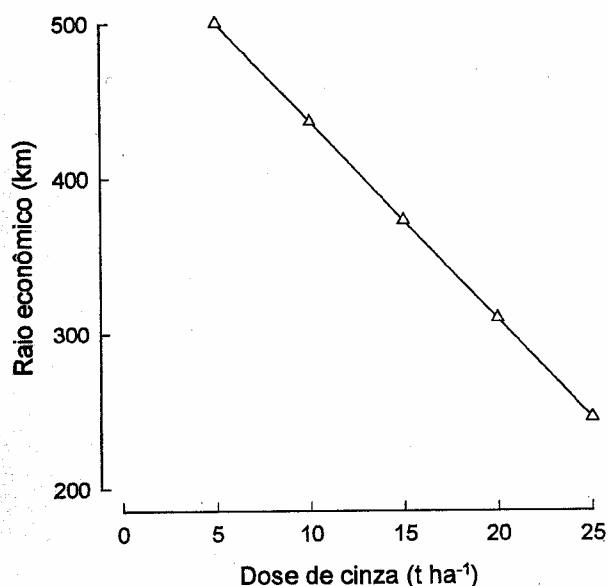
Lucro A = lucro decorrente das técnicas de implantação e manejo dos povoamentos.  
 Lucro B = lucro decorrente da aplicação da cinza.

**FIGURA 2.** Curva de produção de madeira ( $m^3 ha^{-1}$ ), 79 meses pós-plantio, em função das doses de cinza aplicadas ( $t ha^{-1}$ ), bem como os custos fixos, custos variáveis e lucros advindos da aplicação da cinza.

Para o cálculo da dose mais econômica, igualou-se a derivada da equação acima à relação de custos unitários de aplicação da cinza e valor de produto, como apresentado na equação 1. A dose mais econômica de cinza foi calculada como sendo igual a  $19,6 t ha^{-1}$ , ou

seja, cerca de 16% inferior à dose responsável pela produção máxima. Como base de cálculo, consideraram-se como custos de aplicação da cinza: o valor zero na aquisição do produto, por ser um resíduo industrial descartável, o valor de  $0,0132 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1} \text{ km}^{-1}$  como o custo de transporte da cinza da indústria até o experimento (130 km, ida e volta) e  $0,23 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  como o custo para espalhar e incorporar a cinza no solo. Com base nesses valores deduz-se que, para aplicar a dose de cinza que resulta no maior retorno econômico a uma distância de 65 km da indústria, são gastos, por hectare, cerca de  $21 \text{ m}^3$  de madeira com casca para pagar as despesas envolvidas com aplicação da cinza, ou seja 25% do ganho de madeira obtido com a aplicação desta dose, que foi de  $85,7 \text{ m}^3$  de madeira por ha, resultando num lucro líquido de  $64,4 \text{ m}^3$  de madeira.

Com base na equação 3, calculou-se o Raio Econômico para aplicação da cinza, tendo como referência diferentes doses desse insumo (FIGURA 3). A título de exemplo, observa-se que diante das perspectivas de ganho de produção com a aplicação de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de cinza, que a distância da indústria para se levar a cinza, em que os custos se igualam aos benefícios, é de 436 km.



**FIGURA 3. Distância máxima que a cinza pode ser transportada e aplicada (Raio econômico) diante das perspectivas de ganho de produção, para diferentes doses de cinza aplicadas.**

## CONCLUSÕES

A aplicação de doses crescentes de cinza resultou em consideráveis elevações de produtividade, sendo que para a dose de melhor resposta,  $20 \text{ t ha}^{-1}$  de cinza, os ganhos foram 49% superiores à testemunha. Os ganhos em produtividade promovidos pela cinza, de modo geral, independentemente das doses aplicadas, foram superiores àqueles conseguidos mediante a aplicação de adubo químico. A dose mais econômica de cinza foi estimada como sendo  $19,6 \text{ t ha}^{-1}$ , para uma distância de transporte deste resíduo igual a 65 km. Cerca de  $21 \text{ m}^3$  de madeira com casca seriam necessários para pagar as despesas envolvidas com a aplicação da cinza, ou seja, 25% do ganho de produção de madeira obtido com aplicação desta dose, que foi de  $85,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de madeira.

## AGRADECIMENTOS

Ao Diretor de Recursos Naturais da Champion Papel e Celulose Ltda., Manoel de Freitas, ao Eng<sup>o</sup> Florestal Antonio Sérgio Diniz e à equipe de pesquisa florestal da Chamflora Agrícola Ltda. pelo incentivo, sugestões e apoio recebido para a conclusão deste trabalho. Ao Prof. Iraê Amaral Guerrini da UNESP-Botucatu e ao Eng<sup>o</sup> Florestal Robinson Cannaval Jr. pelas numerosas sugestões na condução desta pesquisa e pelo auxílio prestado nas análises estatísticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas de ensaio-M 14/70**. São Paulo, 1974. 1p.

BARROS, N.F.; PEREIRA, A.R.; BORBA, A.M. Liberação de nutrientes minerais mediante a queima de leiras. **Revista árvore**, Viçosa, 6(1): 84-9, jan./jun. 1982.

COUTO, H.T.Z. **Índice de sítio**: relatório interno da Champion Papel e Celulose Ltda. Mogi-Guaçu, 1990. 7p. (não publicado)

DINIZ, A.S.; BEIG, O. **Resultados preliminares da utilização de cinza proveniente de eucalipto como fertilizante florestal**. Mogi-Guaçu, Champion Papel e Celulose, 1982. 9p. (não publicado)

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1985. 507p.

PEREIRA, A.R.; BARROS, N.F.; FLORES, A.C. Uso da moínha de carvão vegetal como fonte de nutrientes em povoamentos de eucaliptos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4; Belo Horizonte, 1982. Belo Horizonte, SBS, 1982. p.416-7.

RANZANI, G. **Carta de solos dos hortos de propriedade da Champion Papel e Celulose S.A.** Piracicaba, ESALQ, 1972. 291p.

ST APE, J.L.; BALLONI, E.A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. **IPEF**, Piracicaba (40): 33-7,1988.

STAPE, J.L.; ZANI, J. Aumento da produtividade de **Eucalyptus grandis**, em Areias Quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais**. Campos do Jordão, SBS, 1990. p. 386-90.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in climatology**, Centerton (8): 1-104, 1955.

Trabalho recebido = 08/09/1994

Trabalho aceito = 19/12/1994