

Neto Oliveira, Sílvio Nolasco de; Reis Gonçalves dos, Geraldo; Reis Ferreira, Maria das Graças;  
Neves Lima, Júlio César  
Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* dehn. em resposta à adubação e  
ao espaçamento  
Revista Árvore, vol. 27, núm. 1, janeiro-fevereiro, 2003, pp. 15-23  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48827103>

## PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA EM *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO E AO ESPAÇAMENTO<sup>1</sup>

Sílvio Nolasco de Oliveira Neto<sup>2</sup>, Geraldo Gonçalves dos Reis<sup>3</sup>, Maria das Graças Ferreira Reis<sup>3</sup> e Júlio César Lima Neves<sup>4</sup>

**RESUMO** - Plantas de *Eucalyptus camaldulensis* sob quatro níveis de adubação foram estabelecidas em quatro espaçamentos, na região dos cerrados, em Minas Gerais, com o objetivo de avaliar a influência destas variáveis na produção e no acúmulo de biomassa nas plantas. Os espaçamentos foram constituídos por uma distância fixa entre as linhas de 3 m e distância entre as plantas na linha de 2, 3, 4 e 5 m. A adubação consistiu de níveis proporcionais crescentes de uma combinação de fertilizantes denominados 0, 1, 2 e 4. A produção e a alocação de biomassa foram avaliadas aos 20 e 32 meses de idade. Equações de regressão foram ajustadas, utilizando-se dados obtidos aos 32 meses de idade, para estimativa da produção de biomassa da parte aérea e da madeira. A produção média de biomassa da madeira, aos 32 meses, foi 71, 120 e 98% superior nos níveis de adubação 1, 2 e 4, respectivamente, quando comparadas com plantas no nível 0. A adubação promoveu redução na relação raiz/parte aérea, tendo sido 0,87, 0,70, 0,67 e 0,59, para níveis crescentes de adubação. A produção de biomassa da parte aérea e da madeira, por planta, aumentou com o espaçamento entre as plantas, ou seja, maior produção foi obtida no espaçamento mais amplo (3 x 5 m), sendo a produção por unidade de área maior nos menores espaçamentos. A produção de biomassa apresentou comportamento quadrático, tendo as maiores produções, por unidade de área e por planta, sido obtidas entre os níveis de adubação 2,7 e 2,8.

Palavras-chave: Eucalipto, adubação, espaçamento, produção de biomassa e estimativa de produção.

### ***BIOMASS PRODUCTION AND DISTRIBUTION IN Eucalyptus camaldulensis Dehn. AS INFLUENCED BY FERTILIZATION AND SPACING***

**ABSTRACT** - *Eucalyptus camaldulensis* plants were established under four spacings and four fertilization levels at the savannah region in Minas Gerais, southeastern Brazil, to evaluate the influence of these variables on dry matter production and distribution. The spacings consisted of 3 m between rows and 2, 3, 4 and 5 m between plants in the planting line. Fertilizer levels consisted of a basic fertilization mixture denominated level zero and increasing levels denominated level one, two and four. The average dry weight production of above- and belowground components was evaluated at 20 and 32 months of age. Regression equations were fitted using data obtained from the stand at 32 months of age. At this age, the average stemwood dry weight was 71%, 120% and 98% greater at fertilization levels one, two and four, respectively, when compared with plants growing at fertilization level zero. Fertilization induced reduction of the root/aboveground dry matter relation. Stemwood and total aboveground dry weight per plant increased with decreased stem density, being the highest at the 3 x 5 m spacing, while the highest production per unit area occurred at the smaller spacing. Dry weight production presented a quadratic behavior and the greatest production per plant and per unit area was obtained between 2.7 and 2.8 fertilization levels.

**Key words:** Eucalypt, fertilization, spacing, biomass production, and production estimate.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 14.8.2001.  
Aceito para publicação em 19.2.2003.

<sup>2</sup> Prof. Adjunto do Dep. de Silvicultura/IF da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, <snolasco@ufrj.br>.

<sup>3</sup> Prof. Titular do Dep. de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, <greis@mail.ufv.br>; <sup>4</sup> Prof. Adjunto do Dep. de Solos da UFV, <julio@solos.ufv.br>.

## 1. INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam elevada eficiência nutricional em razão de sua maior capacidade de retranslocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais, especialmente coníferas (Attiwill, 1980; Crane & Raison, 1981; Reis & Barros, 1990). Além desta característica, a capacidade de adaptação a situações de déficit hídrico apresentada por algumas espécies desse gênero tem possibilitado que os plantios sejam implantados na região dos cerrados, onde os solos apresentam baixa fertilidade e o clima provoca pronunciado déficit hídrico. Porém, a produtividade dessas florestas pode ser consideravelmente aumentada com a adubação (Ballard, 1984; Balloni, 1984; Barros et al., 1990; Novais et al., 1990) e com a adoção de espaçamentos que permitem o uso adequado dos nutrientes, da água e das radiações lumínicas (Reis & Reis, 1993; Gomes, 1994; Bernardo, 1995).

A definição de espaçamento para plantio de espécies florestais é de grande importância, uma vez que pode afetar o crescimento das plantas, a exploração florestal, os custos de produção, dentre outros (Daniel et al., 1982; Balloni, 1983; Contreras-Marquez, 1997), possibilitando a otimização dos recursos luz, água e nutrientes (Reis & Reis, 1993). O espaçamento de plantio pode afetar a alocação de biomassa nos diversos componentes da planta. Por exemplo, Bernardo et al. (1998) observaram que, em espaçamentos mais abertos, houve redução na proporção da biomassa do tronco em relação à biomassa total, em razão do aumento da alocação da biomassa para folhas e raízes laterais, para *E. urophylla* e *E. pellita*, e das raízes com diâmetro superior a 2 mm, para *E. camaldulensis*. Leles (1995) também observou que, no espaçamento 9 x 9 m, *E. pellita* aloca grande parte de fotoassimilados para produção de raízes, ou seja, em espaçamentos muito amplos pode ocorrer alocação de biomassa para componentes da árvore que não são explorados comercialmente.

As diferenças de resposta ao espaçamento quanto à produção e partição de fotoassimilados podem ocorrer em consequência da qualidade do local, no que se refere à disponibilidade de água, nutriente e luz (Patiño-Valera, 1986; Reis & Reis, 1993; Gomes, 1994). Reis et al. (1985) observaram variação na distribuição de biomassa entre os componentes da árvore de *E. grandis* com a qualidade do local. A proporção da biomassa alocada para a madeira foi de 45,8%, aos 67 meses, em Carbonita-MG (local de pior qualidade), e de aproximadamente 60% em idades

superiores a 51 meses, em Bom Despacho-MG (local de melhor qualidade).

No presente trabalho, foram avaliadas as interações entre níveis de adubação e espaçamentos sobre a produção e alocação de biomassa em plantas de *E. camaldulensis*, na região dos cerrados, em Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi instalado em novembro de 1991, em João Pinheiro-MG, utilizando-se mudas de *E. camaldulensis*, produzidas a partir de sementes coletadas da Área de Produção de Sementes (APS) da Mannesmann FI-EL Florestal, denominada Sussuarana (origem de Petford, na Austrália). Os solos da área são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (Oliveira et al., 1990), fase cerrado, caracterizado por apresentar baixa fertilidade e capacidade de retenção de água.

As plantas foram dispostas em arranjo fatorial 4 x 4 (quatro espaçamentos x quatro níveis de adubação), em dois blocos casualizados, distribuídos em quatro faixas, nas quais se distribuíram os espaçamentos. Dentro das faixas foram casualizados os níveis de adubação. Os espaçamentos das plantas constituíram-se de uma distância fixa de 3 m entre as linhas e distâncias variáveis entre as plantas nas linhas de plantio, de 2, 3, 4 e 5 m. Os diferentes níveis de adubação, denominados 0, 1, 2 e 4 constituíram-se das doses apresentadas no Quadro 1.

A biomassa de cada componente da parte aérea e do sistema radicular foi determinada aos 20 e 32 meses de idade. Em cada parcela, composta por 25 plantas úteis cada, foi derrubada uma árvore que apresentava valor médio da população para diâmetro e altura, para as avaliações de biomassa. O sistema radicular foi dividido em raiz pivotante e raízes laterais maiores e menores que 2 mm de diâmetro.

Foram ajustadas equações de regressão, utilizando-se os valores das árvores abatidas nos níveis 1, 2 e 4 de adubação, aos 32 meses de idade, relacionando-se a produção de matéria seca (por árvore e por área) da parte aérea e da madeira, em função do nível de adubação e da área útil por planta. Modelos lineares e quadráticos foram testados e selecionados através da análise da significância dos coeficientes dos termos das regressões, com base no QMResíduo da ANOVA, e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Quadro 1** – Quantidades de adubo incorporado (Inc.) ao solo na época de plantio e aplicadas em cobertura (Cob.), para o estabelecimento de *E. camaldulensis*, no município de João Pinheiro-MG

**Table 1** – Amount of fertilizer incorporated (Inc.) to soil at planting time and covering (Cob.), to establish *E. camaldulensis* at João Pinheiro-MG, southeastern Brazil

Nível de Adubação	Fertilizante (Dose)						
	SFS		BX	NK	CD	G	FTE
	Cova <sup>1/</sup>	Inc. <sup>2/</sup>	Cob. <sup>3/</sup>	Cob. <sup>3/</sup>	Inc. <sup>4/</sup>	Inc. <sup>2/</sup>	Inc. <sup>2/</sup>
0	50	0	20	0	0	0	0
1	50	200	20	50	500	500	20
2	100	400	20	100	1.000	1.000	40
4	200	800	20	200	2.000	2.000	80

SFS - superfosfato simples; BX - bórax; NK - 20-00-20; CD - calcário dolomítico; G - gesso; FTE - BR 08; <sup>1/</sup> g/planta; <sup>2/</sup> kg/ha incorporados nas entrelinhas, 60 dias após o plantio; <sup>3/</sup> g/planta em coroamento, 60 dias após o plantio; e <sup>4/</sup> kg/ha, incorporados na entrelinha do plantio.

Os valores das variáveis independentes (espaçamento e nível de adubação), capazes de proporcionar os valores máximos estimados de produção de matéria seca, aos 32 meses de idade, foram determinados pela derivação das equações de regressão ajustadas. Naquelas equações que apresentaram ponto de mínimo, o valor recomendável da variável independente foi considerado como o menor valor da variável independente estudado. Quando apenas o efeito linear da equação apresentou-se significativo, desde que positivo, considerou-se que a máxima produção estimada foi obtida em resposta ao maior valor estudado da variável independente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Produção e Distribuição de Biomassa

A produção de biomassa por árvore, aos 20 e 32 meses de idade, foi influenciada pelo nível de adubação e espaçamento (Quadro 2). Comparando a biomassa total por árvore, aos 32 meses de idade, constata-se que os níveis de adubação 1, 2 e 4 apresentaram ganhos médios de 41, 77 e 57%, respectivamente, em relação ao nível zero e, para a produção de madeira esses ganhos foram mais acentuados, correspondendo, em média, a 71, 120 e 98%, respectivamente.

A produção de biomassa do sistema radicular por árvore também sofreu alteração em função dos níveis de adubação, tendo aumentado em 25, 53 e 25% nos níveis de adubação 1, 2 e 4, respectivamente, quando comparada com a biomassa produzida no nível zero. Entretanto, observa-se diminuição da relação raiz/parte aérea com o aumento do nível de adubação, com valores de 0,84, 0,71,

0,68 e 0,57, para os respectivos níveis, de 0 a 4, em razão da maior alocação proporcional de fotoassimilados para as raízes nos níveis mais baixos de adubação. Este comportamento pode ser considerado como uma estratégia da espécie na busca de água e nutrientes. Resultados similares foram obtidos por REIS et al. (1985), que relataram ter ocorrido produção de raiz substancialmente maior em um sítio classificado como de pior qualidade, em razão da fertilidade e disponibilidade hídrica reduzidas, comparado com um sítio de melhor qualidade.

Os maiores valores de biomassa da parte aérea e do sistema radicular, por árvore, aos 32 meses de idade, foram observados nos espaçamentos mais amplos (3 x 4 m e 3 x 5 m), quando comparados com os espaçamentos mais reduzidos (3 x 2 m e 3 x 3 m), em razão da reduzida competição entre plantas em densidades populacionais mais baixas.

A produção de matéria seca, por unidade de área, aos 32 meses de idade, aumentou com a aplicação de níveis crescentes de fertilizante e decresceu com o aumento do espaçamento entre plantas (Quadro 3). Apesar do tamanho reduzido por árvore, a produção de biomassa de madeira, por unidade de área, aumentou com a redução do espaçamento, principalmente em razão do maior número de indivíduos por unidade de área.

A distribuição de biomassa nos componentes da árvore foi alterada com a adubação, o espaçamento e a idade das plantas (Figura 1). A biomassa média de madeira, nos níveis 0, 1, 2 e 4 de adubação, correspondeu a 34, 43, 42 e 44% da biomassa total, respectivamente, levando em consideração todos os espaçamentos. No nível zero de adubação houve acúmulo de 45% da

biomassa nas raízes, enquanto no nível 4 o acúmulo foi de apenas 35%. No nível 0 de adubação, as raízes com diâmetros maiores que 2 mm contribuíram com 24% da biomassa total e a raiz pivotante, com 16%. Com o aumento da dose de fertilizantes, o acúmulo de matéria seca

nas raízes menores que 2 mm de diâmetro passou de 5% da matéria seca total no nível 0 para 2% no nível 4 de adubação. A baixa fertilidade do solo, além de reduzir a produtividade, alterou a participação de fotoassimilados na planta.

**Quadro 2** – Produção média de biomassa (kg/planta) dos componentes das árvores de *E. camaldulensis*, em função do nível de adubação, do espaçamento e da idade da planta, no Município de João Pinheiro-MG

**Table 2** – Average dry weight production (kg/ha) of *E. camaldulensis* above and belowground components, growing at different fertilization levels, spacings and ages, in João Pinheiro, MG, southeastern Brazil

Espaçamento (m)	Componentes da Árvore									
	Parte Aérea				Raiz			Biomassa Total (kg/planta)		
	Madeira	Casca	Galho	Folha	Pivotante	Laterais (kg/planta)				
<b>Idade: 20 meses</b>										
Nível de Adubação – 0										
3X2	3,05	0,56	0,81	1,97	1,71	1,18	0,69	9,97		
3X3	3,76	0,74	0,90	2,15	1,02	2,66	1,04	12,27		
3X4	6,11	1,11	1,01	2,28	1,02	3,99	1,62	17,14		
3X5	4,67	0,86	1,41	3,83	1,77	2,50	1,13	16,17		
Nível de Adubação – 1										
3X2	4,05	0,55	1,81	1,95	0,95	2,27	0,49	12,07		
3X3	5,08	0,74	1,82	3,05	1,50	6,57	1,10	19,87		
3X4	4,63	0,77	1,49	2,92	1,98	2,18	0,73	14,70		
3X5	6,21	0,97	1,56	2,91	1,55	7,27	1,35	21,83		
Nível de Adubação – 2										
3X2	5,73	0,57	1,50	2,71	1,98	7,84	0,53	20,86		
3X3	7,67	0,93	2,40	4,25	2,12	2,60	0,81	20,76		
3X4	6,24	0,78	1,62	4,30	1,75	6,70	0,44	21,83		
3X5	8,85	1,00	3,49	6,78	2,70	7,56	1,14	31,52		
Nível de Adubação – 4										
3X2	7,20	1,11	1,08	1,80	1,55	3,33	1,23	17,30		
3X3	10,27	1,50	1,56	2,77	3,09	2,88	0,98	23,05		
3X4	10,44	1,22	3,28	5,13	1,49	8,48	1,71	31,75		
3X5	12,86	1,76	2,49	5,21	2,22	3,28	1,28	29,10		
<b>Idade: 32 meses</b>										
Nível de Adubação - 0										
3X2	7,66	1,15	1,37	1,48	3,56	2,29	1,21	18,70		
3X3	9,98	1,42	1,66	2,54	4,49	6,96	1,74	28,76		
3X4	13,24	2,12	2,53	3,18	7,29	16,40	1,93	46,67		
3X5	13,11	1,98	3,74	3,76	5,00	9,62	1,41	38,61		
Nível de Adubação – 1										
3X2	11,04	1,83	3,15	1,44	7,46	5,22	0,73	30,86		
3X3	17,67	3,81	2,66	2,99	6,65	13,89	0,96	48,62		
3X4	20,22	2,36	2,71	3,25	6,27	6,23	1,19	42,21		
3X5	26,33	3,45	3,42	3,75	10,17	16,82	1,65	65,58		
Nível de Adubação – 2										
3X2	18,55	2,57	2,77	2,69	5,66	6,67	0,81	39,70		
3X3	23,05	3,07	3,76	2,89	7,72	12,80	1,14	54,41		
3X4	24,23	3,03	3,10	3,72	6,04	25,20	1,01	66,32		
3X5	30,83	3,05	6,87	5,73	9,87	16,81	1,27	74,42		
Nível de Adubação – 4										
3X2	16,39	1,78	2,50	2,10	5,65	3,22	0,63	32,26		
3X3	22,81	2,16	2,39	2,66	4,54	9,27	0,59	44,40		
3X4	23,59	3,31	6,35	4,76	7,51	25,13	1,19	71,83		
3X5	24,43	4,88	5,65	5,21	6,21	12,25	1,27	59,89		

**Quadro 3** – Produção média de biomassa (t/ha) dos componentes das árvores de *E. camaldulensis*, em função do nível de adubação, do espaçamento e da idade da planta, no Município de João Pinheiro-MG

**Table 3** – Average dry weight production (t/ha) of *E. camaldulensis* above- and belowground components, growing at different fertilization levels, spacings and ages, in João Pinheiro, MG, southeastern Brazil

Espaçamento (m)	Componentes da Arvore								
	Parte Aérea				Raiz			Biomassa Total (t/ha)	
	Madeira (t/ha)	Casca	Galho	Folha	Pivotante (t/ha)	Laterais (t/ha)	> 2mm	< 2mm	
<b>Idade: 20 meses</b>									
Nível de Adubação – 0									
3X2	5,08	0,93	1,35	3,28	2,84	1,97	1,15	16,61	
3X3	4,01	0,79	0,96	2,29	1,09	2,84	1,11	13,08	
3X4	5,09	0,92	0,84	1,90	0,85	3,32	1,35	14,28	
3X5	2,98	0,55	0,90	2,45	1,13	1,60	0,72	10,33	
Nível de Adubação – 1									
3X2	6,47	0,89	2,89	3,11	1,52	3,64	0,78	19,30	
3X3	5,64	0,83	2,03	3,39	1,67	7,29	1,22	22,07	
3X4	3,85	0,65	1,24	2,43	1,65	1,82	0,60	12,24	
3X5	3,97	0,62	1,00	1,86	0,99	4,64	0,86	13,95	
Nível de Adubação – 2									
3X2	9,54	0,94	2,50	4,52	3,30	13,05	0,89	34,75	
3X3	8,52	1,03	2,66	4,72	2,35	2,89	0,90	23,07	
3X4	4,99	0,62	1,29	3,44	1,40	5,35	0,35	17,44	
3X5	5,89	0,66	2,33	4,52	1,80	5,03	0,76	20,99	
Nível de Adubação – 4									
3X2	12,00	1,85	1,80	3,00	2,59	5,55	2,05	28,83	
3X3	10,95	1,60	1,66	2,95	3,29	3,07	1,04	24,57	
3X4	8,00	0,93	2,51	3,93	1,14	6,50	1,31	24,32	
3X5	8,56	1,17	1,66	3,47	1,48	2,18	0,85	19,38	
<b>Idade: 32 meses</b>									
Nível de Adubação - 0									
3X2	12,76	1,92	2,28	2,46	5,92	3,81	2,01	31,15	
3X3	10,63	1,51	1,76	2,70	4,78	7,41	1,85	30,66	
3X4	11,02	1,76	2,11	2,65	6,07	13,66	1,60	38,87	
3X5	8,38	1,27	2,39	2,40	3,19	6,14	0,90	24,67	
Nível de Adubação – 1									
3X2	17,65	2,92	5,03	2,30	11,92	8,35	1,17	49,34	
3X3	19,63	4,23	2,96	3,32	7,38	15,43	1,07	54,02	
3X4	16,84	1,97	2,25	2,70	5,22	5,19	0,99	35,16	
3X5	16,82	2,20	2,19	2,39	6,50	10,74	1,05	41,90	
Nível de Adubação – 2									
3X2	30,90	4,27	4,61	4,47	9,42	11,11	1,35	66,14	
3X3	25,60	3,41	4,18	3,21	8,57	14,22	1,26	60,45	
3X4	19,36	2,42	2,48	2,97	4,82	20,13	0,81	52,99	
3X5	20,53	2,03	4,57	3,81	6,57	11,20	0,84	49,56	
Nível de Adubação – 4									
3X2	27,30	2,96	4,17	3,49	9,41	5,36	1,05	53,74	
3X3	24,31	2,30	2,54	2,84	4,83	9,88	0,63	47,33	
3X4	18,07	2,54	4,86	3,65	5,75	19,25	0,91	55,02	
3X5	16,27	3,25	3,76	3,47	4,13	8,16	0,85	39,88	

A diminuição do espaçamento de plantio favoreceu, em parte, o acúmulo de biomassa na madeira, exceto quando as plantas receberam o nível 1 de adubação, o que ocorre em razão do maior acúmulo de biomassa nas raízes em espaçamentos mais amplos.

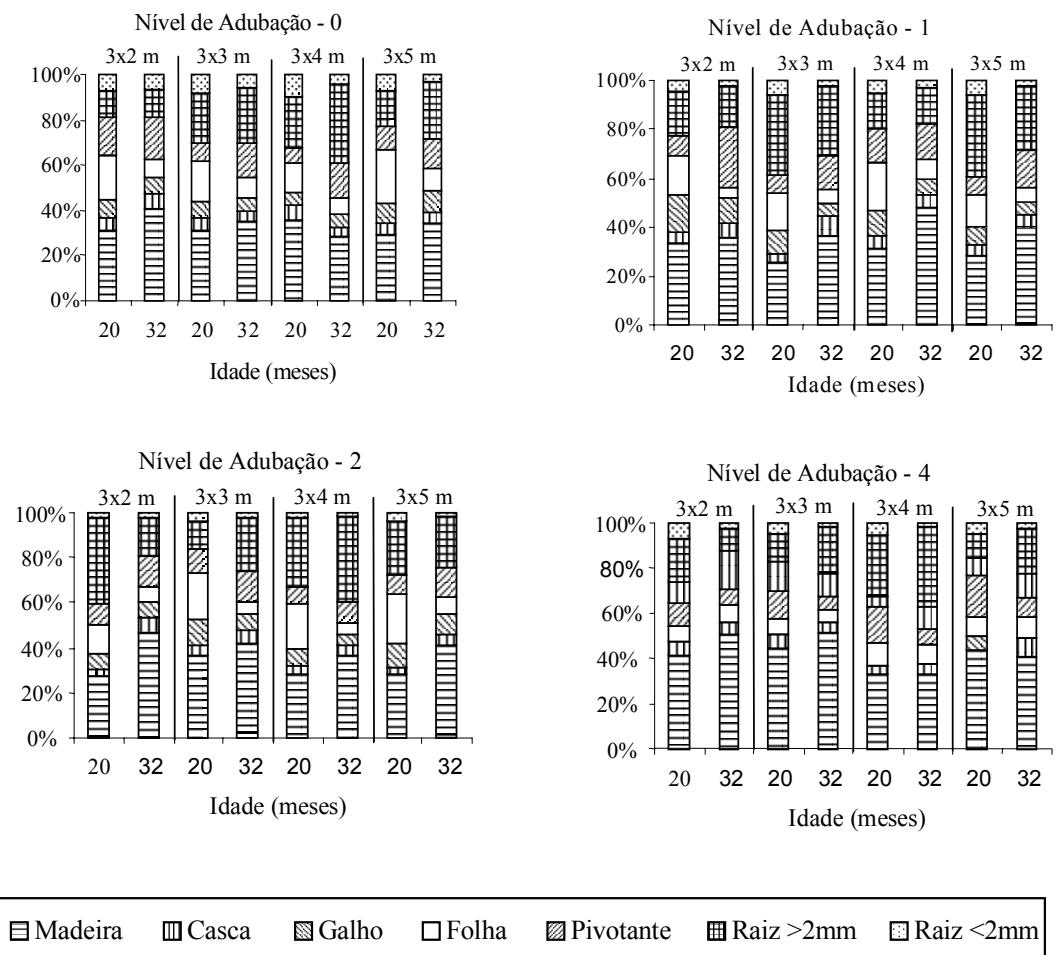
A proporção de biomassa acumulada na madeira aumentou com a idade do povoamento, principalmente nos menores espaçamentos (3 x 2 m e 3 x 3 m), em razão da diminuição do acúmulo em outros componentes, como folha e raízes maiores que 2 mm de diâmetro. Exceção

foi observada no nível 4 de adubação, nos espaçamentos 3 x 4 m e 3 x 5 m. As folhas, aos 20 meses de idade, representavam em média 18, 16, 19 e 14% do total da biomassa nos níveis 0, 1, 2 e 4 de adubação, respectivamente, tendo a proporção sido reduzida para 8, 6, 6 e 7%, aos 32 anos de idade. Nos espaçamentos mais amplos (3 x 4 m e 3 x 5 m) este comportamento só foi observado no nível 1 de adubação, e nos demais níveis, apesar de ter ocorrido diminuição da proporção de folhas, as raízes grossas tiveram sua proporção aumentada. Este comportamento pode estar indicando que, aos 20 meses de idade, as raízes grossas ainda não haviam ocupado

toda a área útil disponível nos espaçamentos mais amplos, estando ainda em pleno crescimento.

### 3.2. Equações de Regressão para Estimativa de Biomassa

As equações de regressão ajustadas para determinação da biomassa da parte aérea e biomassa da madeira, aos 32 meses de idade, estão no Quadro 4. A partir destas equações, foram plotadas as superfícies de resposta, com a finalidade de melhor observar a produção de biomassa em função dos níveis de adubação e da área útil por planta.



**Figura 1** – Distribuição relativa da biomassa entre os componentes das árvores de *E. camaldulensis*, nos diferentes espaçamentos e níveis de adubação, aos 20 e 32 meses de idade, no município João Pinheiro-MG.

**Figure 1** – Relative distribution of dry weight of the tree components of *E. camaldulensis*, at different spacings and fertilizer levels, aged 20 and 32 months, at João Pinheiro, MG, southeastern Brazil.

A produção estimada de biomassa da parte aérea, por árvore, está representada na Figura 2a. Foi observado efeito quadrático do nível de adubação, havendo um nível de máxima produção de matéria seca, o qual foi menor que o nível quatro. A variável área útil por planta apresenta comportamento linear, sendo assim, considerou-se que dentro do limite experimental dessa variável o valor que proporciona maior produção de matéria seca da parte aérea por árvore, aos 32 meses de idade, foi de aproximadamente  $15 \text{ m}^2/\text{planta}$ . Derivando a equação de regressão que estima a biomassa da parte aérea por planta, foi

observado que o ponto de máxima produção ocorreu no nível de adubação 2,8.

Para produção de biomassa da parte aérea, por unidade de área, o efeito do nível de adubação apresentou resposta quadrática, com a máxima produção ocorrendo no nível 2,7 de adubação, ou seja, próximo do nível de máxima produção da biomassa por planta. A área útil por planta necessária para obter a maior produção de biomassa da parte aérea, por área, aos 32 meses de idade, foi  $6 \text{ m}^2$ , uma vez que existe um ponto mínimo nessa equação (Figura 2b).

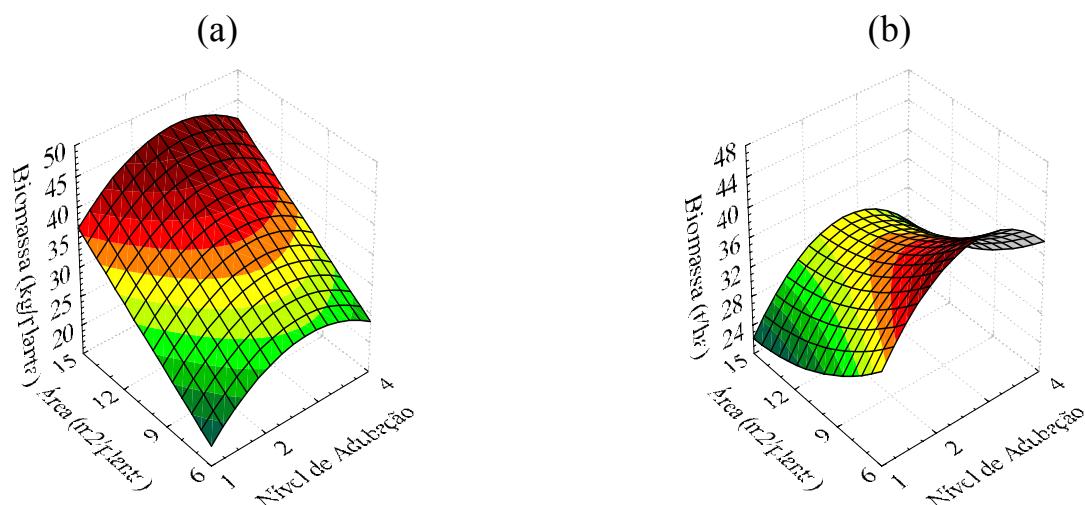
**Quadro 4** – Equações de regressão para estimar a matéria seca (kg/árvore e t/ha) da parte aérea e da madeira de *E. camaldulensis*, aos 32 meses de idade, em função do nível de adubação e área útil por planta, no município de João Pinheiro-MG

**Table 4** – Regression equations to estimate total aboveground and stemwood dry weight (kg/trees and t/ha) of *E. camaldulensis*, aged 32 months, as a function of fertilization levels and available area per plant, at João Pinheiro, MG, southeastern Brazil

Componente (Y)	Equação	$R^2$
Parte aérea (kg/planta)	$Y = -6,7924 + 16,0288^{**}\text{AD} + 2,0126^{**}\text{AR} - 2,8575^{**}\text{AD}^2$	0,939
Parte aérea(t/ha)	$Y = 35,2365 + 18,3429^{**}\text{AD} - 3,6414^{**}\text{AR} - 3,3293^{**}\text{AD}^2 + 0,1180^{*}\text{AR}^2$	0,832
Madeira (kg/planta)	$Y = -3,8832 + 11,8807^{**}\text{AD} + 1,2374^{**}\text{AR} - 2,1769^{**}\text{AD}^2$	0,894
Madeira (t/ha)	$Y = 21,0189 + 14,0330^{**}\text{AD} - 2,0132^{**}\text{AR} - 2,5566^{**}\text{AD}^2 + 0,0525^{*}\text{AR}^2$	0,781

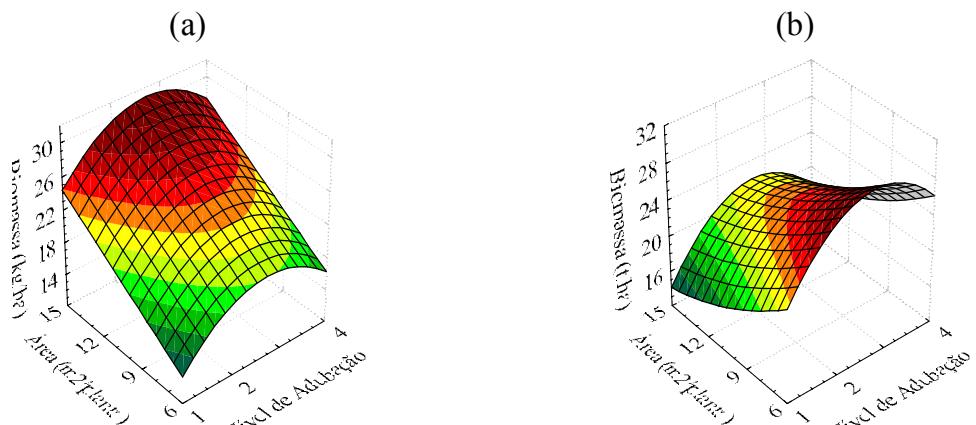
Y = produção de matéria seca; AD - Nível de adubação; AR - Área útil por planta.

\*\* significativo a 1% de probabilidade e \* significativo a 5% de probabilidade.



**Figura 2** – Superfície de resposta para produção de biomassa da parte aérea por árvore (a) e por unidade de área (b) de *E. camaldulensis*, em função do nível de adubação e da área útil por planta, aos 32 meses de idade, no município de João Pinheiro-MG.

**Figure 2** – Surface response for aboveground dry weight production per tree (a) and per unit area (b), of *E. camaldulensis*, aged 32 months, as a function of fertilization level and available area per plant, at João Pinheiro, MG, southeastern Brazil.



**Figura 3** – Superfície de resposta para produção de biomassa da madeira, por árvore (a) e por unidade de área (b), de *E. camaldulensis*, em função do nível de adubação e da área útil por planta, aos 32 meses de idade, no município de João Pinheiro-MG.

**Figure 3** – Response surface for production of stemwood dry weight per tree (a) and per unit area (b), of *E. camaldulensis*, aged 32 months, as a function of fertilization level and available area per plant, at João Pinheiro, MG, southeastern Brazil.

As estimativas de produção de biomassa da madeira por planta, aos 32 meses de idade, apresentaram comportamento semelhante ao da parte aérea, em razão de esse componente representar a maior proporção da matéria seca da parte aérea (Figura 3a).

A produção de madeira por planta também apresentou resposta linear positiva para a variável área útil por planta, sendo considerada, neste caso, a área de 15 m<sup>2</sup> como a que proporcionou maior produção de madeira por planta. O nível de adubação que promoveu maior produção de matéria seca por planta foi 2,7. O comportamento estimado da produção, apresentado na Figura 3, mostra claramente que maiores valores de área útil proporcionam maior produção de madeira por planta, fato que, como mencionado anteriormente, é devido à menor competição entre os indivíduos no povoamento. A produção estimada de biomassa da madeira por unidade de área representada pela Figura 3b, exibiu, por derivação, o ponto de máxima produção como sendo o nível 2,7 de adubação. Como nessa mesma equação há um ponto de mínimo para a área útil por planta, considerou-se, para maior produção de madeira, aos 32 meses de idade, a menor área útil por planta (6 m<sup>2</sup>).

#### 4. CONCLUSÕES

- A adubação influenciou a alocação e a produção de biomassa de *Eucalyptus camaldulensis*, aos 32 meses de idade.

- A relação raiz/parte aérea foi superior no nível de adubação zero, em relação a todos os níveis de adubação, mostrando que a planta prioriza a alocação de fotoassimilados para o sistema radicular, em detrimento de outros componentes da planta, em condições de reduzida fertilidade do solo, o que talvez demonstre uma estratégia da espécie em condições ambientais adversas.

- O espaçamento a ser adotado no plantio deve ser selecionado em função do produto florestal desejado, uma vez que, em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea e, em especial, da madeira, por árvore, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos.

- O uso de doses mais elevadas de fertilizantes não implicou aumento proporcional na produção de matéria seca de madeira, na idade em que foi realizado o estudo, sendo a máxima produção estimada observada no nível 2,7. É desejável acompanhar o experimento em idades mais avançadas para conclusões finais, uma vez que as plantas apresentam-se em crescimento ativo, principalmente quando são analisadas aquelas que crescem em espaçamentos mais amplos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling in a *Eucalyptus oblique* (L'Herit) forest. IV. Nutrient uptake and nutrient return. *Australian Journal of Botany*, v. 28, n. 2, p. 199-222, 1980.

- BALLARD, R. Fertilization of plantations. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (Eds.) **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984. p. 327-360.
- BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *Pinus caribaea* Morelet Var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do Estado de São Paulo**. 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1984.
- BALLONI, E. A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, v.8, n.31, p.588-592, 1983.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 125-186.
- BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. 1995. 102 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1995.
- BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p.1-13, 1998.
- CONTRERAS-MARQUEZ, C. E. **Estudo silvicultural e econômico de povoamentos de eucalipto na região de cerrado de Minas Gerais**. 1997. 131 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1997.
- CRANE, W. J. B.; RAISON, R. J. Removal of phosphorous in logs when harvesting *Eucalyptus delegatensis* and *Pinus radiata* forests on short and long rotations. **Australian Forestry**, v. 43, n. 4, p. 253-260, 1981.
- DANIEL, T.W., HELMS, J.A., BACKER, F.S. **Princípios de silvicultura**. Mexico: McGraw-Hill, 1982. 492 p.
- GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. 1994. 85 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1994.
- LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. 1995. 133 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1995.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98..
- OLIVEIRA, A. C.; BERTOLUCCI, F. L. G.; ANDRADE, H. B. Avaliação do *Eucalyptus camaldulensis* nas condições edafoclimáticas do norte e nordeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 474-486.
- PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* e sua interação com espaçamento**. 1986. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.
- REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, n.2, p.149-162, 1985.
- REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Resumos...** Viçosa: SIF/UFV, 1993. p. 161-172.
- REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.